



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta strojní



# **Analýza kvality lemového spoje při lepení karosářských výrobků**

***Diplomová práce***

***Studijní program:*** N2301 - Strojní inženýrství  
***Studijní obor:*** 2301T048 - Strojírenská technologie a materiály

***Autor práce:*** **Bc. Jakub Macháček**  
***Vedoucí práce:*** Ing. Pavel Doubek Ph.D.



Technická univerzita v Liberci  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2017/2018

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Macháček**  
Osobní číslo: **S16000292**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**  
Název tématu: **Analýza kvality lemového spoje při lepení karosářských výrobků**  
Zadávací katedra: **Katedra strojírenské technologie**

### **Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

1. Současné trendy vývoje karoserie osobních automobilů.
2. Technologie lepení a lemové spoje v konstrukci karoserie osobních automobilů.
3. Vypracování metodiky hodnocení kvality lemových spojů používaných při stavbě karoserie a experimentální analýza kvality lemového spoje.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.
5. Závěr.

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy  
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

- [1] KOL. *Strukturkleben im Fahrzeugbau*, Verlag Moderne Industrie, DOW Automotive, Germany, 2006.
- [2] BROCKMANN, WALTER, GEISS, PAUL L. *Adhesion Technology*, 2008.
- [3] ASM HANDBOOK. *Volume 8 - Mechanical Testing and Evaluation*. 10th ed. Materials Park: ASM International, s. 998, 2000. ISBN 0-87170-389-0.
- [4] DOUBEK, P., KOLNEROVÁ, M. *Základy technologie lepení karosářských výlisků*. Technická univerzita v Liberci, Liberec 2014, 117 s. ISBN 978-80-7494-170-2.
- [5] Technické materiály od výrobců a zpracovatelů lepidel a plechů.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie  
Konzultant diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie  
Datum zadání diplomové práce: 31. října 2017  
Termín odevzdání diplomové práce: 31. ledna 2019

  
prof. Dr. Ing. Petr Lexfeld  
děkan



  
doc. Ing. Jindřich Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2017

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá metodikou hodnocení lepených lemových spojů vyrobených v laboratorních podmínkách. Pro otestování metodiky jsou vybrány kombinace materiálů a lepidel, které se používají při sériové výrobě karoserií automobilů. V rámci experimentu jsou zvolena čtyři lepidla a dva druhy materiálů o různých tloušťkách, na kterých je metodika ověřována.

## **Klíčová slova:**

Lepený lemový spoj, karoserie automobilu, metodika, lepidlo, materiál.

## **Annotation:**

Master thesis deals with the methodology of the evaluation of the hem flanges made in the laboratory terms. The combination of materials and adhesives are selected for the testing of methodology. The materials and adhesives are used at a serial production of car bodies. Within the experiment there are selected four adhesives and two kinds of materials of different thicknesses which the methodology is tested methodology on.

## **Key words:**

Hem flange, car body, methodology, adhesive, material.

## **Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. za odbornou pomoc při vypracování teoretické a praktické práce a hodnotné připomínky a podněty při navrhování metodiky.

Dále bych rád poděkoval Ing. Tomáši Pilvousekovi, Ph.D., Ing. Miloši Fortnerovi a kolektivu pracovníků ze Škoda Auto a.s. za poskytnuté materiály a informace.

Také bych chtěl poděkovat rodičům a přítelkyni Elišce, za jejich podporu a trpělivost během celého mého studia.

Všem jmenovaným mnohokrát děkuji za jejich podporu a pomoc při studiu.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21122/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

# OBSAH

OBSAH .....	7
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	9
1 ÚVOD .....	10
2 TEORETICKÁ ČÁST .....	14
2.1 Technologie lepení .....	14
2.1.1 Teorie lepených spojů .....	14
2.1.1.1 Adheze .....	15
2.1.1.2 Koheze .....	16
2.1.2 Druhy lepených spojů .....	17
2.1.3 Základní výhody a nevýhody lepených spojů na karoserii .....	18
2.1.4 Lepidla využívaná pro stavbu karoserií .....	19
2.1.5 Zkoušky lepených spojů a lepidel .....	21
2.1.5.1 Vyhodnocení typu porušeného spoje .....	23
2.2 Klasifikace ocelí používaných v konstrukci karoserií .....	24
2.2.1 Oceli používané na lemové spoje .....	25
2.2.2 Povlaky ocelových plechů .....	26
2.2.3 Maziva používaná na karoseriích .....	27
2.3 Lemové spoje .....	28
2.3.1 Druhy lemových spojů .....	31
2.3.2 Způsob výroby lemových spojů .....	32
2.3.2.1 Technologie lemových spojů v automobilovém průmyslu .....	34
2.3.2.2 Hodnocení lemových spojů v automobilovém průmyslu .....	38
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	41
3.1 Cíl experimentu .....	41
3.2 Návrh přípravku .....	42
3.2.1 Instrukce k použití přípravku .....	43
3.2.1.1 Ustavení přípravku do zkušebního zařízení .....	43
3.2.1.2 Ustavení vzorku do přípravku .....	45
3.3 Popis metodiky .....	46
3.3.1 Popis výroby vzorků lepeného lemového spoje .....	47
3.3.2 Popis metodiky zkoušení vzorků lepeného lemového spoje .....	53
3.4 Experimentální měření .....	54
3.4.1 Použitá lepidla .....	56
3.4.1.1 SikaPower 492 .....	56
3.4.1.2 Betamate 1440G .....	56

3.4.1.3	Betaguard RB214BV .....	57
3.4.1.4	Corabond V .....	57
3.4.2	Adherendy použité na vzorky .....	57
3.4.2.1	HX 300 LAD + Z100 MCO .....	57
3.4.2.2	HX 340 LAD + Z100 MBO .....	58
3.5	Zkouška vzorků .....	59
3.5.1	Lemová zkouška .....	59
3.5.2	Metalografická zkouška .....	60
4	DISKUZE VÝSLEDKŮ .....	61
4.1	Diskuze dílčích výsledků z hlediska pevnosti spojů .....	62
4.2	Diskuze dílčích výsledků z hlediska opakovatelnosti výroby spojů .....	66
5	ZÁVĚR .....	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	74
	SEZNAM PŘÍLOH .....	76



# SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Význam
1-K	Jednosložkové lepidlo
2-K	Dvousložkové lepidlo
Adherend	Lepený materiál
Adhezivo	Lepidlo
AF	Adhezní porušení
AHSS	Advanced High Strength Steel – moderní vysokopevnostní oceli
BH	Ultra Hardening –BH efekt umožňuje zvýšení meze kluzu při teplotách vypalování laku
CF	Kohezní porušení
CP	Complex Phase – vícefázové oceli
DP	Dual Phase – dvoufázové oceli
EG	Electro Galvanized – elektrolyticky pozinkovaný plech
FB	Ferrite – bainite steel – feriticko bainitická ocel
HDG + NIT	Žárově pozinkovaný plech s mikrofosfátem
HDG	Hot Dip Galvanized – žárově pozinkovaný plech
HF	Hot Forming – oceli tvářené za tepla
HS – IF	High Strength – Interstitial Free – nízkouhlíková ocel bez intersticiálního zpevnění
HSLA	High Strength Low Alloy – vysokopevnostní ocel s nízkým obsahem příměsí
HSS	High Strength Steel – oceli s vysokou mezí pevnosti
IF	Interstitial Free – ocel bez intersticiálního zpevnění
KTL	Kataforetické lakování
LSS	Low Strength Steel – oceli s nízkou mezí pevnosti
MILD	Běžná nízkouhlíková ocel
MS	Martensitic Steel – martenzitická ocel
PHS	Press Hardened Steel – ocel tvářená za vysokých teplot
PUR	Polyuretan
SCF	Semi-kohezní porušení
Substrát	Lepený materiál
TRIP	Transformation Induced Plasticity – ocel s transformačně indukovanou plasticitou
TWIP	Transformation Induced Plasticity – označení oceli se základním mechanismem plastické deformace dvojčatěním
PTFE	Polytetrafluorethylen – fluorovaný polymer

# 1 ÚVOD

V současném automobilovém průmyslu je jedním ze stěžejních hledisek pro výrobu nových automobilů plnění emisních norem. Ty jsou neustále zpřísnovány, proto musí výrobci automobilů hledat řešení, jak je i nadále splnit. Jednou z možností je konstrukce hybridních automobilů nebo elektromobilů. Dalším trendem je zvyšování účinnosti spalovacích motorů osazených moderními filtry pevných částic v kombinaci se snižováním hmotnosti karoserie pomocí menších tloušťek plechů vyráběných z moderních materiálů a technologií jejich spojování. Proti těmto skutečnostem snižování hmotnosti jde fakt, že karoserie musí zajistit bezpečnost posádky. Tuhost karoserie zvyšuje aplikace moderních lepidel ve stále větším množství. Veškeré optimalizace lepidel a materiálů probíhají na základě normalizovaných zkoušek, které ovšem neodpovídají reálnému zatěžování, proto byla vypracována tato práce, která má za úkol přiblížit laboratorní výsledky reálným podmínkám zatěžování.

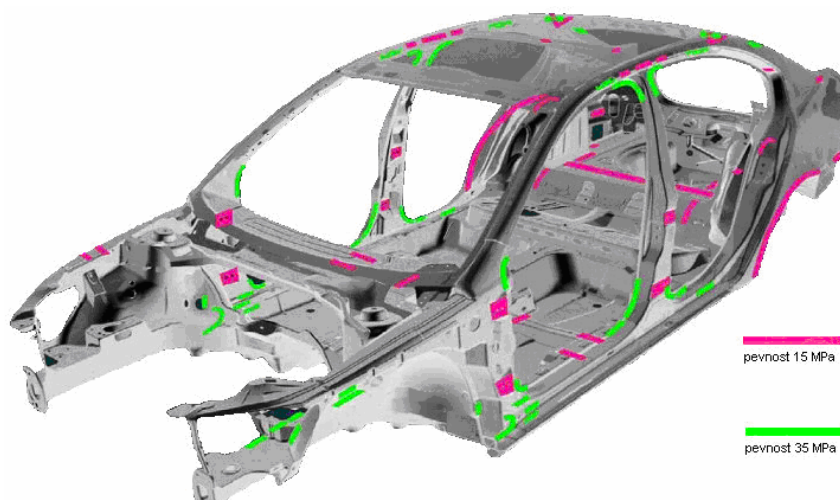
Na spojování jednotlivých dílů karoserie jsou nyní používány především tyto technologie: odporové svařování, tavné svařování, pájení a lepení. Při pohledu na tabulku 1 znázorňující generační rozdíly aplikace jednotlivých technologií spojování dílů Škody Fabia III vůči Škodě Fabia II, lze konstatovat, že z uvedených technologií dosáhla největšího progresu technologie lepení s nárůstem více než sedmi metrů. To je důkaz, že lepení je velice progresivní technologie, která má výrazné přednosti, ale zároveň i nedostatky [1].

Tab. 1 Generační rozdíly v aplikaci jednotlivých svařovacích technologií a lepení [1]

Technologie	Fabia II	Fabia III	$\Delta$
Svařovací body [ks]	3 820	3 884	+64
Tavné svařování MAG [mm]	3 050	1 658	-1 392
Pájení MIG [mm]	1 115	903	-212
Laserové pájení a svařování [mm]	4 398	4 425	+27
Lepení [mm]	27 657	35 399	+7 742

Karoserie je lepena na mnoha místech z důvodů pevnostních, akustických, vibračních atd. Na obrázku 1 je ukázka lepených ploch skeletu karoserie. Další velké množství lepených ploch se nachází na zbytku karoserie. Jedny z nejdůležitějších, jsou spoje, kde se technologií lepení spojují dva výlisky, z nichž jeden je pohledový

a druhý strukturní. Tyto spoje jsou následně fixovány technologií lemování a nazývají se lemovými spoji.



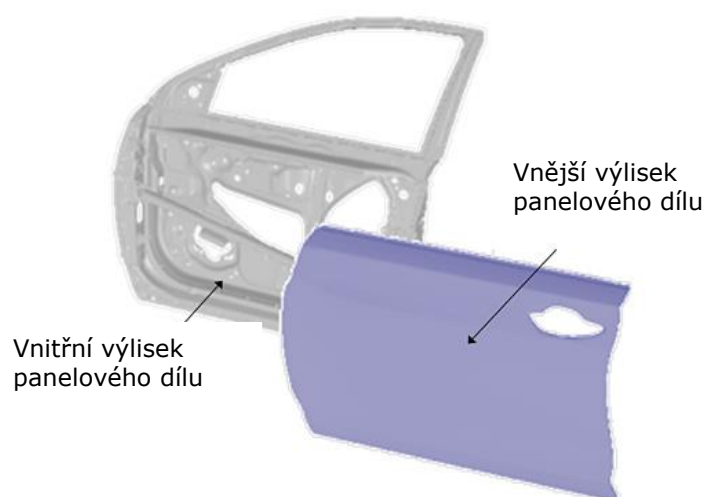
*Obr. 1 Ukázka umístění lepených ploch na skeletu karoserie [2]*

Technologie lepení a lemování spolu úzce souvisí. V automobilovém průmyslu se tyto technologie kombinovaně využívají několik desítek let. Pro snazší pochopení této kombinace budou tyto technologie vysvětleny jednotlivě.

Lepení lze chápat jako spojování součástí v nerozebíratelný nebo částečně rozebíratelný celek pomocí přídavných látek nazývaných lepidla. V současné době tato technologie prochází masivním rozmachem ve všech známých průmyslových odvětvích. Technologie, která byla doposud spíše doplňková, se postupně stává technologií nenahraditelnou. Podíl technologie lepení v měřítku technologií spojování součástí narůstá každým rokem. Největší progres této technologie nastal s vývojem plastických hmot [3].

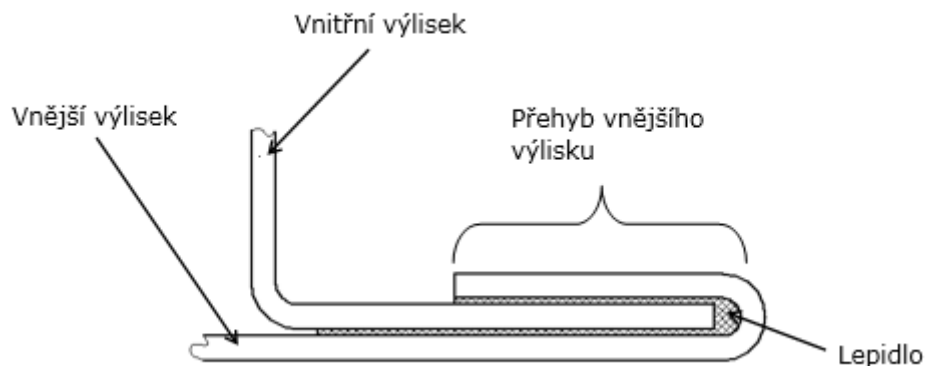
Lemování, drážkování či nesprávně „falcování“, to vše vyjadřuje stejnou technologii pro výrobu lemových spojů [4]. Jedná se o spoj, který má široké spektrum použití, příkladem může být výroba konzerv v potravinářském průmyslu, výroba plechových střešních krytin ve stavebnictví, výroba automobilů apod. [5].

V automobilovém průmyslu slouží technologie lemování pro spojení vnějších a vnitřních karosářských výlisků. Jedná se o proces ohýbání dané části vnějšího výlisku v oblasti budoucího spoje přes vnitřní výlisek (viz obrázek 2). Výsledkem tohoto procesu je lemový spoj [6].



Obr. 2 Struktura předních dveří automobilu [7]

Při stavbě karoserií, je ve většině případů tento lemový spoj doplněn o lepidlo, poté může být nazýván jako lepený lemový spoj. Nachází se po celém obvodu panelových dílů (boční dveře, páté dveře, kapota) a na potřebných místech karoserie. Na obrázku 3 je znázorněn řez lemovým spojem.



Obr. 3 Řez lemovým spojem

Lemový spoj dosahující nejvyšší jakosti vzniká v případě, kdy jsou kontaktní lepené plochy vzájemně rovnoběžné a tloušťka lepidla mezi těmito plochami je 0,1-0,2 mm. Avšak dosažení takových jakostních lepených lemových spojů je velmi obtížná problematika. Další samostatnou kapitolou jsou způsoby hodnocení kvality lepených spojů. Lepený spoj se hodnotí velmi nesnadno a v praxi doposud převažuje hodnocení lemového spoje jeho „otevřením“. Tím však dojde ke zničení dílu a ke zvyšování výrobních nákladů.

Cílem diplomové práce je vytvořit metodiku umožňující hodnotit lepené lemové spoje vyrobené v laboratorních podmínkách, které v určitých mezích odpovídají skutečným lepeným lemovým spojům používaných na karoseriích automobilů. Ve spolupráci se Škodou Auto a.s. Mladá Boleslav byly vybrány čtyři druhy lepidel na dvou typech materiálů. Tyto kombinace se uplatňují při sériové výrobě karoserií vozů Škoda. Pro samotné vyhodnocení laboratorně vyrobených lepených lemových spojů byl vyroben zkušební přípravek, na kterém byla metodika otestována. Dále má práce za úkol seznámit čtenáře se současnými trendy vývoje karoserie osobních automobilů.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Technologie lepení

Lepení je technologie, při které dochází k vytvoření nerozebíratelného nebo částečně rozebíratelného spoje pomocí přídavných látek, kterými jsou lepidla. V některých případech lze lepidlem nazývat naleptaný nebo rozpuštěný povrch. Lepením vzniká spoj, který může mít malou nebo velkou, bodovou nebo stykovou plochu. Lepidlo je látka, za pomoci které dochází k přilnutí povrchů pevných předmětů, čímž je docíleno pevného spojení neboli soudržnosti. Lepidlo může být tvořeno přírodní směsí nebo syntetickým materiálem [3].

Lepený spoj může plnit několik funkcí. Při navrhování lepených spojů je velmi důležité zvolit vhodnou kombinaci lepidla a spojovaných materiálů. V oblasti výroby automobilů jsou předem známy materiály (výlisky), které budou spojovány technologií lepení. Dle umístění lepeného spoje v rámci karoserie, pevnosti spoje a dalších požadavků je volen vhodný typ lepidla. Základní lepidla používaná na karoseriích automobilů jsou rozděleny, podle toho, zda se podílejí na dynamické odolnosti automobilu, nebo mají pouze doplňkovou funkci.

Lepidla podílející se na dynamické odolnosti jsou:

- vysokopevnostní kaučuková lepidla;
- semi-crashová epoxidová lepidla;
- pevnostní crashová epoxidová lepidla;
- hybridní crashová a semi-crashová lepidla (PUR+Epoxy, Kaučuk + Epoxy atd.).

Lepidla tvořící doplňkovou funkci jsou na bázi polyuretanů a kaučuků. Využívají se pro utěsnění spár karoserie nebo pro vytvoření akustických a antivibračních clon [3].

#### 2.1.1 Teorie lepených spojů

Technologie lepení je založena na určitých mechanismech a zákonitostech bez ohledu na to, kde je technologie využívána. Nejdůležitějšími pojmy v této technologii je adheze a koheze a vycházejí z nich všechny teorie lepených spojů. Jejich existence je podložena Van der Waalsovými silami. Pevnost lepeného spoje závisí mimo jiné hlavně na těchto parametrech:

- přilnavost lepidla k lepenému povrchu (adheze),
- soudržnost hmoty neboli vnitřní pevnosti lepidla (koheze),
- smáčivost lepeného povrchu kapalným lepidlem,
- pevnost (soudržnost) lepeného materiálu [3].

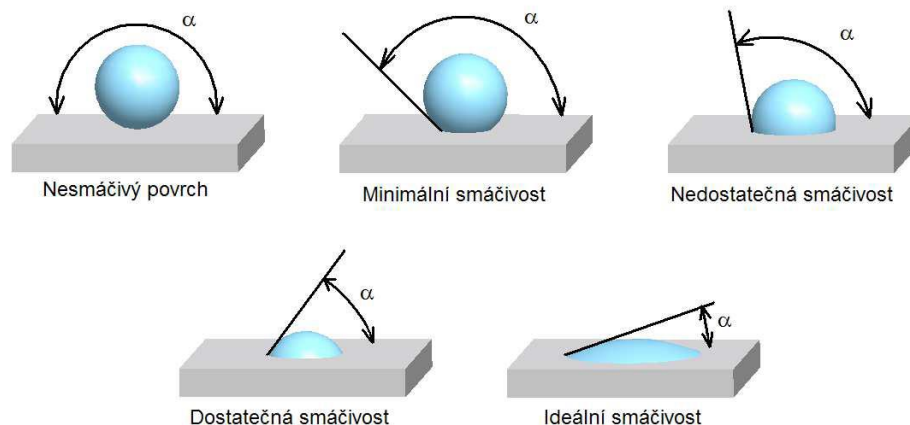
### 2.1.1.1 Adheze

Adheze nebo také přilnavost je definována jako schopnost přilnavostí dvou povrchů rozdílných materiálů. Vzniká v důsledku vzájemného působení molekul, to znamená, že souvisí s molekulovou strukturou [8]. Adheze je založena na fyzikálních silách přitažlivosti a adsorpce, které jsou popisovány jako Van der Waalsovy [3]. Tyto síly patří do skupiny sekundárních sil, které se vyznačují malým působením fyzikálních sil na malé vzdálenosti, v řádech nanometrů, což je nižší hloubka, než je hodnota mechanicky opracovaných ploch [8]. Je tedy důležité, aby lepidlo maximálně vniklo do těchto nerovností povrchu a co nejlépe smáčelo povrch lepené plochy [3].

Vzhledem k velkému obsahu reakce schopných chemických skupin jsou molekuly lepidla jednostranně elektricky orientovány, to znamená, že jsou polární. Díky polaritě povrchu látek vzniká povrchová energie, kterou vyjadřuje povrchové napětí [3].

Přijatelná adheze je závislá na dobré smáčivosti lepeného pevného povrchu s tekutým lepidlem. Smáčivost závisí na úhlu smáčení  $\alpha$ , který svírá okraj kapky vody s lepeným povrchem a souvisí s povrchovou energií obou látek. Povrchová energie vzniká v důsledku polarity povrchu a je známo, že čím vyšší je hodnota povrchového napětí, tím je pevný povrch nebo kapalina polárnější [9]. Většina používaných lepidel má nižší povrchové napětí než voda, pak lze předpokládat, že bude-li povrch smáčen vodou, pak bude smáčen i lepidly [8].

Smáčivost povrchů lze hodnotit kapkovou metodou (viz obrázek 4), kterou udává elevační úhel. Ten určuje rozdíl povrchových napětí lepidla a vzduchu. V případě kladného rozdílu je elevační úhel ostrý a lepidlo dobře smáčí povrch. Pokud je rozdíl záporný, vychází elevační úhel tupý a lepidlo špatně nebo vůbec nesmáčí povrch [3].



Obr. 4 Smáčivost lepidel –  $\alpha$  elevační úhel [3]

Důležitým faktorem ovlivňující smáčivost je čistota lepených ploch. V tomto případě vzniká u lepení karoserií automobilů závažný problém. Lepené plochy karoserií nejsou před samotným lepením čištěny a v mnoha případech se na nich vyskytují nečistoty v podobě maziva, prachu apod. [3].

V praxi i v literatuře je známo více teorií adheze. Principem jednotlivých teorií je vztah molekul a jejich vzájemného působení, kde se uplatňují fyzikální, mezimolekulární a chemické síly. Zde jsou uvedeny základní teorie adheze:

- Molekulová teorie,
- Elektrostatická teorie,
- Difúzní teorie,
- Chemická teorie,
- Mechanická teorie [8].

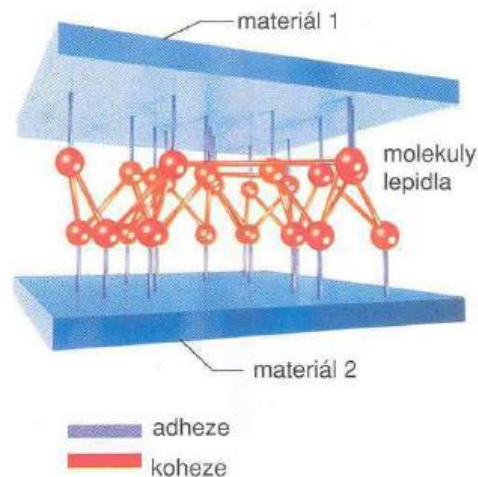
Podrobné vysvětlení těchto teorií je uvedeno v odborné literatuře [9].

### 2.1.1.2 Koheze

Koheze čili soudržnost materiálu je závislá na tloušťce lepidla a určuje vlastní pevnost lepidla. Při zatížení není lepidlo namáháno pouze ve stykových plochách s lepeným materiálem, ale také uvnitř filmu lepidla. Velikost koheze je udávána kohezní energií, kterou je nutné vyvinout pro oddělení jedné částice lepidla od ostatních. Tato energie se skládá z mezimolekulárních přitažlivých Van der Walsových sil a sil vyjadřující vzájemné propletení řetězců molekul polymerů mezi sebou [3].

Kvalitní lepený spoj vzniká tehdy, pokud jsou adhezní a kohezní síly v rovnováze, vzhledem ke skutečnosti, že pevnost řetězce odpovídá jeho nejslabšímu článku. Na obrázku 5 jsou znázorněny kohezní a adhezní vazby [3].





Obr. 5 Adheze a koheze lepidla k lepenému materiálu [3]

### 2.1.2 Druhy lepených spojů

Volbou optimálního tvaru lepeného spoje se zabývá konstruktér, který spoj může navrhovat ze dvou hledisek. První možností je pro danou konstrukci a její požadavky navrhnout vhodný spoj a především lepidlo. Druhým hlediskem je najít pro určitý typ lepidla vhodnou aplikaci, což je ten méně častý případ [3].

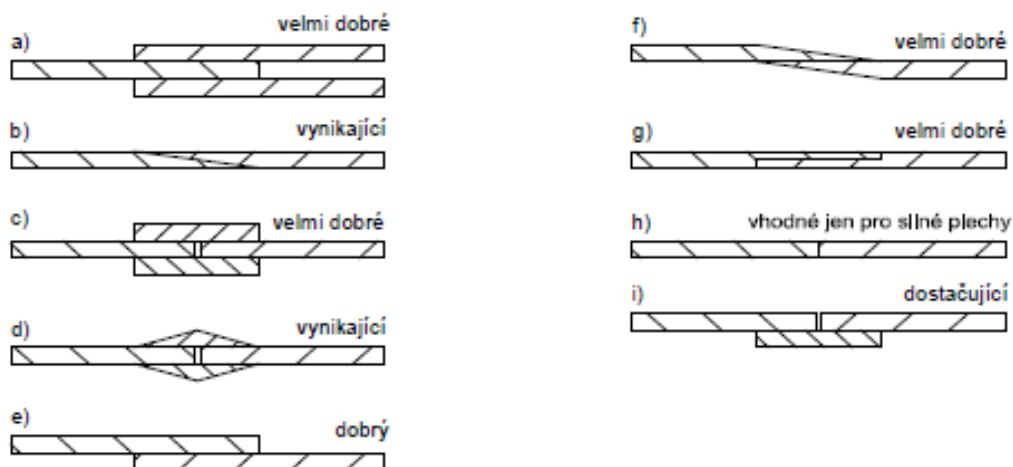
Navrhované konstrukce spojované technologií lepení jsou z hlediska aplikace lepidel limitovány:

- fyzikálně-mechanickými vlastnostmi lepených spojů,
- fyzikálně-mechanickými vlastnostmi použitého lepidla,
- charakterem a velikostí adhezivních sil na rozhraní lepidlo-substrát,
- geometrií spojů,
- vlivem dalších technologií spojování použitých na stejné konstrukci [3].

Ve strojírenství je používáno několik základních typů spojů, které jsou znázorněny na obrázku 6. Ve strojírenské praxi je možné se setkat s dalšími typy lepených spojů, avšak většinou se jedná o kombinaci základních typů spojů [3]. Samostatnou kapitolu tvoří spoje lemové, jejichž popis je uveden v kap. 2.3. Nejčastěji se vyskytují jednoduše přeplátované spoje, z důvodů své jednoduchosti a velké lepené plochy. Nicméně je velmi důležité vědět, jakým namáháním bude spoj v provozu namáhán. Pevnost spoje při namáhání závisí na těchto faktorech:

- pevnost adhezivní vrstvy,
- mechanické vlastnosti adherendu,
- vlastnosti lepidla.

Na základě těchto informací, lze usuzovat, že volba konstrukce a materiálu má vliv na vnitřní napětí, které ovlivňuje pevnost spoje [8].



Obr. 6 a) Dvojitě přeložený spoj, b) Seříznutý spoj c) Dvojitě přeplátovaný spojený pásem d) Dvojitě přeplátovaný spoj se zúženými pásy e) Jednoduchý přeplátovaný spoj f) Zúžený přeplátovaný spoj g) Stupňovitě přeložený spoj h) Tupý čelní spoj i) Přeplátovaný spojený pásem [11]

### 2.1.3 Základní výhody a nevýhody lepených spojů na karoserii

Dominantním hlediskem, které přispělo k velkému rozvoji technologie lepení, je možnost spojení různých druhů materiálů. To je velká přednost před ostatními používanými technologiemi vzhledem k nárůstu výroby karoserií tvořených kombinací ocelových a hliníkových plechů u automobilů vyšších tříd renomovaných značek. Mezi další základní výhody lepení oproti klasickým způsobům spojování (šroubové, nýtové a svarové spoje), patří to, že mechanické vlastnosti základního spojovaného materiálu nejsou zatíženy vrubovým účinkem vznikajícího od otvorů pro šrouby nebo tepelného účinku při svařování [3].

Jak již bylo řečeno, pro stavbu automobilů se doposud používají tenké převážně ocelové plechy, které jsou spojovány především svařováním a lepením. Většina používaných plechů je opatřena povlakem na bázi Zn za účelem vyšší korozní odolnosti, což do celé technologie mimo značných výhod vnáší řadu specifických problémů, jakými jsou: spojování plechů různých tloušťek a jakostí, povrchová zinková vrstva (zůstává na elektrodách, což vede k nižší korozní ochraně v místě svaru) a nelze vytvářet velkoplošné a těsné spoje [3]. Jak je uvedeno v odborné literatuře [3], dosáhne se lepením ve srovnání se současně používaným svařováním těchto výhod:

- *úspora hmotnosti snížením tloušťky plechu v důsledku využití spojů s vyšší stykovou plochou (vyšší tuhost),*
- *umožnění nového montážního postupu,*
- *ochrana proti korozi a tlumení spojovací vrstvou,*
- *žádné poškození ochranné vrstvy pozinkovaných plechů,*
- *plošné uchycení plechů zajišťuje karoserii větší pevnost a tuhost,*
- *povrch spojovaných míst je zcela hladký, odpadají nákladné operace začišťování,*
- *spoje jsou těsné, není třeba utěšňovat dodatečně, což platí i pro palivové nádrže,*
- *vrstva lepidla je elektroizolant, při styku různých kovů nemůže dojít k elektrolytické korozi,*
- *výrazné snížení hlučnosti v karoserii (mezi spojovanými plechy nedochází k hlučnému klepání a skřípaní),*
- *vysoká kvalita vzhledu povrchu spojovaných dílů v místě spoje.*

Jako každá technologie má i lepení své nevýhody, se kterými je nutné při návrhu konstrukce a volbě spojů počítat. Při znalosti těchto nevýhod, je lze na samotné konstrukci eliminovat, nebo úplně odstranit. Odborný zdroj [3] popisuje tyto nevýhody lepených spojů:

- *malá odolnost proti zvýšení teploty a namáhání v odlupování,*
- *nutnost úprav ploch před vlastním lepením (důležitá je čistota a rovinnost povrchu lepených ploch),*
- *většinou je třeba vytvrzovací doby – spoj nelze okamžitě zatížit (maximální pevnosti je dosaženo až po určité době),*
- *dlouhé vytvrzovací doby,*
- *u některých lepidel je třeba použít vytvrzovací přípravky, případně připravit směs několika složek,*
- *u adherendů se špatnými adhezivními vlastnostmi jsou nutné speciální úpravy povrchů (např. použitím aktivátorů).*

## 2.1.4 Lepidla využívaná pro stavbu karoserií

V současném automobilovém průmyslu je možné rozlišovat dvě skupiny lepidel z hlediska fáze výroby automobilu. První skupinou jsou lepidla tzv. svařovenská, název odvozen ze skutečnosti, že všechna tato lepidla jsou nanášena při stavbě karoserie ve svařovně a jsou vytvrzena průchodem karoserie lakovnou za zvýšené teploty. Druhá skupina obsahuje lepidla, která se nevytvrzují teplem a slouží pro lepení ostatních částí automobilu na montáži, proto jsou nazývány lepidly montážními [3]. Vzhledem k zaměření této práce na lepené lemové spoje využívající svařovenská lepidla, bude v následujících odstavcích věnována větší pozornost právě této skupině lepidel.

## **Polyuretanová lepidla**

Tato lepidla vyráběná především společnostmi Sika a Henkel lze zařadit do skupiny lepidel určených pro strukturní lepení teprve po modifikaci polyuretanu epoxidovou pryskyřicí. Ta v podobě modifikátoru usnadňuje adhezi k mastnému povrchu. Tento typ lepidel je používán mimo výše zmíněnou kombinaci s epoxidovou pryskyřicí také jako 1-K nebo 2-K montážní či výplňové lepidlo. Samotné PUR lepidlo se ve většině případů jako konstrukční nepoužívá a je využíváno např. k lepení skel, lepení doplňkových dílů na karoserie. Jeho předností jsou dobré tlumicí a těsnicí vlastnosti [3].

## **Kaučuková lepidla**

V posledních letech zaznamenala výroba kaučukových lepidel výrazný pokrok díky moderním procesům a možnosti ovlivnění zesíťování. Pro dosažení maximálních hodnot modulu pružnosti v tahu je důležité silné zesíťování, čímž dochází také ke zvýšení teploty skelného přechodu. Současná kaučuková lepidla dosahují pevnosti ve smyku kolem 12 MPa [3]. Jejich předností je snášenlivost s oleji a při konstrukci karoserie se využívá jejich dobrých tlumicích a antivibračních vlastností. Tato skupina lepidel se v hojné míře využívá pro spojení a utěsnění povrchů plechů s výztuhami, příkladem je spojení vnitřních výztuh kapoty nebo střechy. V některých případech jsou aplikována na korozně exponovaná místa, jakými jsou např. ořezové hrany plechu apod. [1].

## **Epoxidová lepidla**

Tato skupina lepidel je z konstrukčního hlediska stavby karoserie nejvýznamnější. Epoxidová lepidla dosahují výrazných mechanických hodnot v porovnání s ostatními druhy lepidel. Avšak pro účel lepení karoserií jsou vhodná až v posledních letech vzhledem k potlačení své křehkosti.

Existuje několik možností jak zvýšit houževnatost epoxidových lepidel, mezi nejpoužívanější patří rozptýlení houževnaté fáze (např. reaktivní nebo nereaktivní kaučuk) v pevné, ale křehké matrici epoxidové pryskyřice. Touto modifikací je dosaženo vyšší houževnatosti a optimálnější rázové pevnosti v širším intervalu teplot, ovšem pro použití na automobilu stále nedostatečné vzhledem k možnosti deformace rázem. Výsledného, dnes používaného lepidla bylo dosaženo přidáním tzv. nanoplidel do systému lepidla. Touto úpravou vznikl 2 komponentní systém s modifikací rázové houževnatosti, který se vyznačuje malými plastickými oblastmi

v řádech stovek nanometrů reaktivně sloučených s epoxidovou pryskyřicí [3]. V literatuře [3] je řečeno, že *při rázovém zatížení a místní vysoké špičce napětí redukuje lepidlo koncentrace energie, a tím zabraňuje růstu trhlin a pohlcuje deformační energii.*

Epoxidová lepidla, vzhledem ke své vysoké pevnosti zvyšují celkovou tuhost skeletu vozidla. Nejběžnějším použitím těchto lepidel je lemový spoj panelových dílů (dveří, kapoty a pátých dveří) nebo také skupina lepených oblastí v podlahových částech karoserie. Tato lepidla mají kromě své vysoké pevnosti řadu dalších výhod, jakými jsou: dobrá přilnavost, vysoká teplota skelného přechodu, jsou stabilní a lze je aplikovat na mastné povrchy [1].

### **2.1.5 Zkoušky lepených spojů a lepidel**

V současnosti je výrobcí nabízen široký sortiment lepidel a substrátů. Základní charakteristiky (všeobecné, fyzikální a chemické vlastnosti) lepidel jsou hodnoceny samotnými výrobcí a jsou uvedeny v technickém listu lepidla. Výrobci také provádějí mechanické zkoušky lepených spojů, které jsou pro zpracovatele stěžejní. V mnoha případech si zpracovatel ověřuje tyto hodnoty vlastními zkouškami [3]. Existuje několik normalizovaných zkoušek sloužících ke zjištění kvality lepených spojů vůči použitým lepidlům, mazivům, adherendům atd. Sleduje se jejich vhodnost pro dané konstrukční řešení a napomáhá k vhodnému výběru lepidla [8].

Zkoušky lepidel můžeme rozdělit do několika etap. Nejprve se hodnotí známá kvalita lepidla při vstupní kontrole. Která se skládá ze vzhledové kontroly, fyzikálně chemické zkoušky a fyzikálně mechanické zkoušky. Následuje kontrola procesu lepení sloužící pro dodržení předepsané technologie lepení. Dále je na zkušebních vzorcích ověřován výběr lepidla [8].

Zkoušky lepených spojů slouží ke zjištění mechanických vlastností spoje zatěžovaných různými druhy namáhání. Z výsledných hodnot je možné určit vhodnost lepidla pro danou aplikaci [8]. Všechny takovéto zkoušky jsou destruktivní. Je možné se setkat také s nedestruktivními zkouškami, ty však slouží spíše pro hodnocení kvality procesu lepení. Mezi základní nedestruktivní zkoušky patří vizuální metody, termografie, ultrazvukové metody a radiografie [2, 12]. Výhodou těchto metod je možnost 100% kontroly bez poškození kontrolovaného dílu.

## **Destruktivní zkoušky**

Destruktivní zkoušky se dělí podle dynamiky působící síly a dle druhu namáhání. Zde je uvedeno základní dělení destruktivních zkoušek:

- **statické zkoušky**
  - 1) pevnost v odlupování
  - 2) pevnost ve smyku
  - 3) zkouška lámavosti
- **dynamické zkoušky**
  - 1) rázová pevnost
  - 2) zkouška na únavu lepených spojů [8].

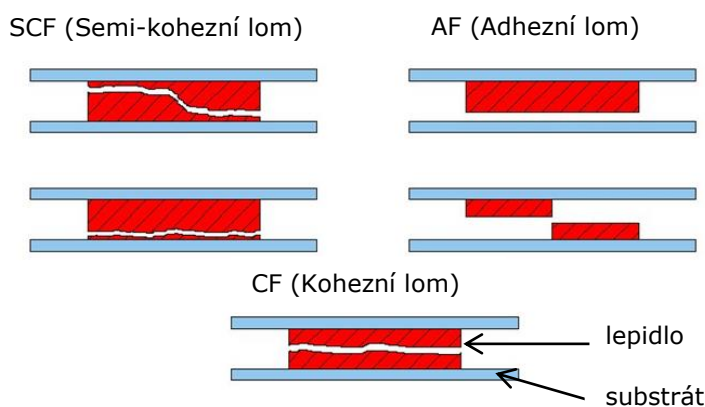
Mezi nejpoužívanější zkoušky pro zjištění mechanických hodnot pevnosti závislých na různých vlivech uvedených v úvodu této kapitoly lze zařadit tyto normalizované zkoušky:

- Zkouška pevnosti lepených spojů v odlupování – norma ISO 11339 udává podmínky pro zhotovení zkoušky pevnosti v odlupování pro pružné materiály ohnuté o libovolný úhel do maximální hodnoty 90° bez porušení a popraskání. Princip zkoušky spočívá v zatěžování zkušebního spoje odlupováním statickým tahem ve směru kolmém na lepenou plochu [13].
- Zkouška pevnosti ve smyku při zatěžování tahem – podstatou této zkoušky dle normy ISO 1465 je namáhání lepeného spoje ve smyku statickým tahem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Zkouška je v různých průmyslových odvětvích aplikačně modifikována dle daných požadavků [14].
- Dynamická odolnost slepů vůči porušení ráze – jedná se o zkoušku patřící do skupiny dynamických zkoušek. Principem je zkoušení symetrických nebo nesymetrických spojů lepených pevnostními lepidly pomocí Sharpyho kladiva [15].

### 2.1.5.1 Vyhodnocení typu porušeného spoje

U všech blíže popsanych destruktivních zkoušek v kapitole 2.1.5 je kromě mechanických hodnot také hodnocena jakost lepeného spoje. Proto byla zavedena norma ČSN ISO 10365 udávající procentuální podíl jednotlivých porušení [16]. Podle [3] je tato norma *obecně používána pro kvalitnější posouzení výsledků mechanických zkoušek adheze lepených spojů. Doplnuje tedy kvantitativně naměřenou hodnotu. Lepená plocha se rozdělí na 10 velikostně si odpovídajících částí a vyhodnotí se procentuální podíl jednotlivých typů porušení v každé oblasti. Na protokolu o měření se vždy uvádí průměrná hodnota ze všech oblastí.*

Norma definuje základní typy porušení lepených spojů, které jsou schematicky znázorněny na obrázku 7. Adhezní typ porušení je z hlediska přilepení karosářských výlisků zcela nepřijatelný [3].



Obr. 7 Definované typy porušení slepených vzorků dle EN 10365 [3]

Pro hodnocení typu porušení je v automobilové praxi vzhledem k časovému omezení používáno převážně vyhodnocení spoje zrakem. Je to jednoduchý a účinný způsob. Pro důkladnější hodnocení je možné použít jednu z těchto metod:

- hodnocení digitálním fotoaparátem,
- hodnocení optickým mikroskopem,
- hodnocení konfokálním mikroskopem [3].

## 2.2 Klasifikace ocelí používaných v konstrukci karoserií

Jak již bylo řečeno v úvodu, automobilový výrobci musejí hledat nová řešení konstrukce automobilů, aby jejich výrobky byly konkurenceschopné, plnily legislativní předpisy a zároveň byly žádoucí a atraktivní ze strany zákazníků. Z hlediska stavby karoserií je tento současný trend:

- nárůst požadavků na konstrukci automobilové karoserie,
- zvětšování karoserie,
- kontinuální snižování hmotnosti karoserie,
- zvyšování tuhosti a bezpečnosti vozidla [2].

Z tohoto důvodu bylo vyvinuto velké množství nových materiálů a technologií jejich zpracování vhodné pro konkrétní použití na karoserii automobilu. Tyto oceli se v technické praxi rozdělují dle tří hledisek. [17]

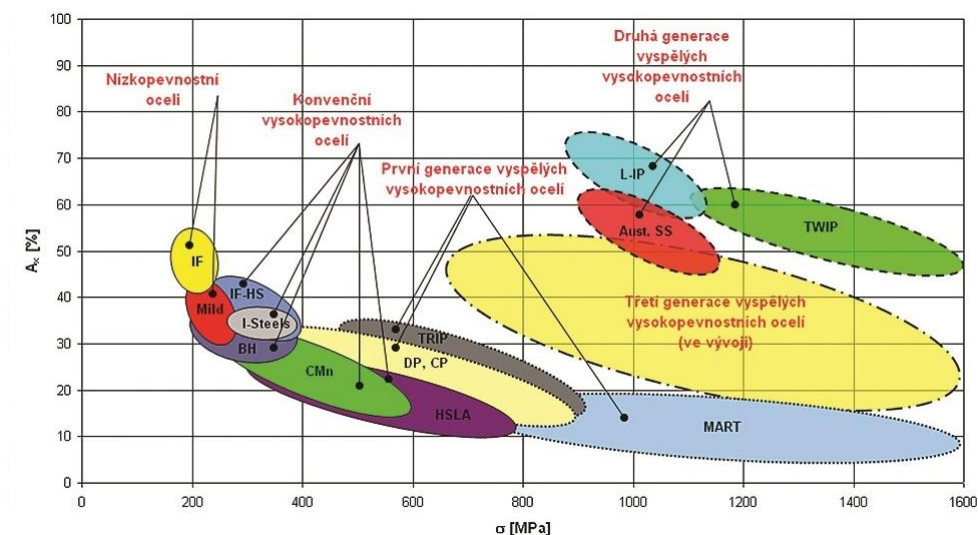
1) rozdělení ocelí dle metalografie (viz obrázek 8) – Podle odborného zdroje [18] jsou oceli děleny do těchto skupin:

- *nízkopevnostní oceli (LSS) – měkké hlubokotažné oceli s řízenou mezí kluzu (IF a Mild oceli),*
- *vysokopevnostní oceli (HSS) – nejpoužívanější konvenční oceli (IF-HS, BH, CMn a HSLA oceli),*
- *pokročilé vysokopevnostní oceli (AHSS) – speciální materiály s vyšší pevností než HSS oceli, určené na bezpečnostní a nosné prvky automobilové konstrukce (DP, CP, TRIP, TWIP a MS oceli),*
- *vysokopevnostní, za tepla tvářené oceli (HF či PHS) – manganborové oceli (22MnB5) s nejvyšší pevností, které se používají na bezpečnostní prvky karoserie.*

2) rozdělení ocelí dle mechanických vlastností – je tvořeno oceli HSS, které mají mez pevnosti v tahu mezi 270 – 770 MPa. Dále na oceli UHSS jejichž mez pevnosti v tahu je větší než 770 MPa.

3) rozdělení ocelí dle tvářecích vlastností – tato metoda klasifikace je založena na posuzování ocelí podle jejich tvářecích vlastností, mezi které patří například zpevnění, celková pružnost apod. [17].





Obr. 8 Porovnání celkové tažnosti a meze kluzu  $R_{p0,2}$  [18]

Existuje mnoho dalších rozdělení ocelí podle různých hledisek. Na obrázku 8 je zakreslena většina ocelí v současné době používaných pro stavbu karoserií. Avšak pro tuto práci jsou stěžejní ocelové plechy, které jsou osazeny lemovými spoji, proto budou podrobněji popsány v další kapitole.

### 2.2.1 Oceli používané na lemové spoje

Lemové spoje jak již bylo napsáno v úvodu, slouží pro spojení vnitřního a vnějšího výlisku dveří, kapoty, pátých dveří nebo také zadních podběhů. Všechny tyto pohledové díly jsou vyrobené z hlubokotažných ocelí.

#### IF oceli

Tyto oceli byly vyvinuty jako náhrada za oceli uklidněné Al, které trpěly na pokles mechanických vlastností ve formě deformačního stárnutí [11]. Jejich předností je extrémně vysoká tažnost, která z těchto ocelí dělá ideální materiál pro výrobu tvarově složitých hlubokotažných dílů karoserií. Princip dosažení této extrémní tažnosti je, že při krystalizaci těchto ocelí, které mají feritickou matici, se ve struktuře nenacházejí žádné intersticiální atomy, které by ocel zpevňovaly. IF oceli jsou mikrolegovány Ti nebo Nb, ty slouží jako karbonitridační stabilizátory a snižují obsahy C a N pod velmi nízké hodnoty (0,005%) [18]. Mez pevnosti těchto ocelí je zhruba 300 MPa, mez kluzu  $R_{p0,2}$  100 – 200 MPa a tažnost kolem 50% [19].

## Mild oceli

Mild oceli jsou běžné nízkouhlíkové oceli s nízkou mezí pevnosti. Mají feritickou strukturu a jsou stabilizovány mikrolegujícími prvky Ti nebo Nb. Do skupiny Mild ocelí patří CS (Commercial Steel), DS (Drawing Steel) a FS (Forming Steel) atd [18]. V minulých letech byly tyto oceli hlavním materiálem pro stavbu karoserií, avšak v současnosti jejich zastoupení na karoserii klesá a je nahrazováno modernějšími materiály. Hodnota meze kluzu Mild ocelí dosahuje až 220 MPa a tažnost se pohybuje mezi 30 – 45 % [19].

## BH oceli

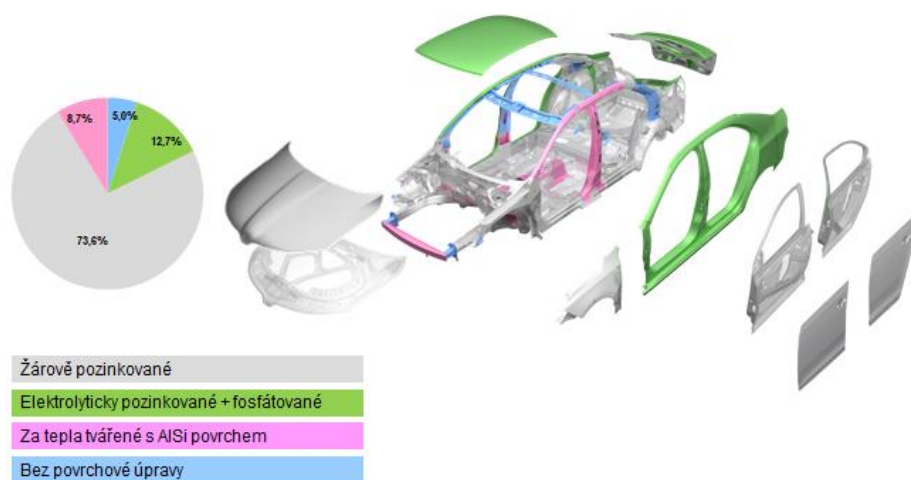
U těchto ocelí se projevuje vytvrzovací BH efekt, pro který je spouštěčem zvýšená teplota kolem 170°C po dobu 20 min. v rámci procesu vypalování kataforetického laku [11]. Z BH ocelí jsou vyráběny panelové díly, především vnější výlisky bočních dveří nebo kapoty. U těchto dílů nedochází při tváření k výraznému zpevnění, proto je s výhodou využíváno BH efektu, který dodatečně zvyšuje tuhost a stabilitu těchto komponent. Zpevnění oceli je dosaženo podle [18] *procesem kontrolovaného žíhání, což je proces založený na nízkoteplotním staticko-napětovém umělém stárnutí. BH proces stabilizuje dislokace interstitickými atomy C a N. Podmínkou procesu je dostatečně vysoký podíl interstitických (rozpuštěných) atomů C v tuhém roztoku na konci výrobního procesu. Ke zvyšování meze kluzu dochází vlivem vzniku Cottrellových atmosfér na dislokacích a následnou precipitací karbidů.* Tyto oceli dosahují meze kluzu  $R_{p0,2}$  200 – 300 MPa, meze pevnosti 350 – 450 MPa a tažnosti 30 – 40 % [19].

### 2.2.2 Povlaky ocelových plechů

V posledních dvaceti až třiceti letech vedou jednotlivé automobilové společnosti konkurenční boj o to, kdo nabídne zákazníkovi delší záruku proti korozi karoserie. Aby bylo požadované jakosti dosaženo, je nutné povlaky nanášet na kovově čistý a vhodně upravený materiál. Nanesený povlak na ocelový plech má za úkol zlepšit tyto schopnosti plechu:

- korozní ochrana,
- tvářitelnost,
- vzhled laku [2].

V automobilovém průmyslu se nejvíce využívá plechů s povlaky na bázi zinku, jehož velkým kladem je cena a výborná korozní ochrana. Zinek svými elektrochemickými vlastnostmi poskytuje ocelovému podkladu katodickou ochranu. Jeho hlavním úkolem na karoserii je výrazné zvýšení odolnosti úplného ochranného systému proti podkorodování a značně oddálit korozi ve spárách a dutinách, kde vlastní nátěrový systém není úplný nebo je méně kvalitní. Ocelové plechy se zinkovým povlakem mají výraznou odolnost proti korozi, avšak jejich nevýhodou jsou sklony k zadírání při tažení, proto se na povlak zinku vytvoří fosfátový povlak [3]. Na obrázku 9 je ukázáno použití povlaků na Škodě Octavia třetí generace. Z této ukázky lze říci, že na pohledových výliscích se převážně používá žárově nanesený zinkový povlak (HDG – Hot Dip Galvanized), zároveň ale i na mnoha výliscích podlahy. Tento povlak je zastoupen necelými 74%. Druhým nejčastěji používaným povlakem je elektrolyticky nanesený zinek (EG – Electro Galvanized) v kombinaci s fosfátováním. Díly ze za tepla tvářených ocelí jsou opatřeny AlSi povrchem, který má primárně technologický účel, ale slouží také jako ochrana proti korozi.



Obr. 9 Použité povlaky na karoserii Škoda Octavia III [2]

Jednotlivé postupy výroby Zn povlaků jsou uvedeny [3].

### 2.2.3 Maziva používaná na karoseriích

Ve strojírenské praxi přesněji v automobilovém průmyslu se při technologii tažení používají mazadla, které slouží k vytvoření mazacího filmu mezi materiálem a nástrojem. Tím dojde k prodloužení životnosti nástroje a ke snížení tření, které má velký vliv na hospodárnost technologie. Kromě tohoto účelu se využívá také konzervačního účinku maziv [8].

Vzhledem ke skutečnosti, že maziva jsou nanášena na materiál před operací tažení (případně v ocelárnách jako ochrana proti korozi), a po ní se již maziva u karosářských výlisků neodstraňují, je tedy důležité, aby použitá lepidla vytvořila s mazivem pevný lepený spoj [8].

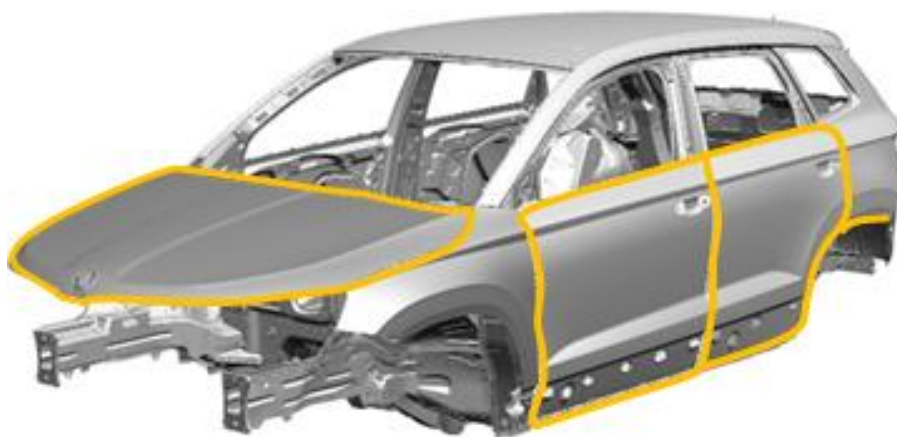
Mazivo výrazně ovlivňuje pevnost lepeného spoje. Proto je nutné dodržovat množství maziva. Pro tváření je výhodnější, pokud je na plechu nanесeno větší množství, avšak pro následné svařování a lepení naopak. Množství maziva se pohybuje v rozmezí 3 – 5 g/m<sup>2</sup> [3]. Tyto hodnoty by měly být dodržovány dodavateli svitků a tabulí plechů. Nicméně po tváření jsou některé výlisky uskladněny ve speciálních paletách, kde zaujímají svislou polohu. V těchto paletách se nacházejí určitou dobu (v některých případech i několik dní) dle aktuálního množství skladových zásob výlisků. Při delší době skladování může docházet ke stékání maziva na nejnižší hranu výlisku, a tím ke zvýšené hodnotě množství maziva.

Existuje mnoho druhů mazadel a způsobů jejich využití. Vlastní rozdělení mazadel lze provést podle různých hledisek. V technické praxi je hlavním kritériem rozdělení fáze skupenství (plynná, kapalná, plastická, pevná). V případě této práce bude minimalizováno rozdělení jen na maziva používaná při lisování [3]. Při lisování se používají tyto druhy mazadel:

- technologická mazadla,
- konzervační mazadla,
- prací oleje [3].

## 2.3 Lemové spoje

Jak již bylo napsáno v úvodu, lemové spoje jsou vyráběny technologií lemování, během které vzniká spojení definovaného tvaru vnitřního výlisku s vnějším výliskem, kde při stavbě karoserií je lemový spoj doplněn o lepidlo. Využitím kombinace technologií lemování a lepení vzniká estetický, pevnostní, těsný lepený lemový spoj. Tento spoj je na karoserii orientován tak, že přehyb vnějšího výlisku je umístěn mimo pohledová místa, tak že ho lze vidět pouze při otevřených dveřích, kapotě nebo nahlédnutím do zadních podběhů. Lemové spoje se nacházejí ve většině případů po celém obvodu panelových dílů nebo v určité části zadních podběhů, tak jak je to možné vidět na obrázku 10.



*Obr. 10 Umístění lepených lemových spojů na karoserii automobilu [2]*

Tyto spoje mají na karoseriích mnoho úkolů, nejdůležitějšími z nich jsou:

- Vytvoření spoje – nejdůležitějším úkolem je spojení dvou plechů, tedy vnitřního s vnějším výliskem a fixace těchto spojení před samotným vytvrzením lepidla, tedy vytvořením hotového lepeného lemového spoje.
- Těsnost – souvisí s předchozím bodem. Správně vyrobený lemový spoj má být těsný z důvodu zabránění vniknutí vody do daných komponent.
- Zamezení hlučnosti – není to jeden z primárních úkolů spoje, ale určitou mírou zamezuje prostupu hluku do kabiny automobilu.
- Pevnost a tuhost – použitím pevnostních (epoxidových) lepidel zvyšuje spoj celkovou tuhost jednotlivých dílů a celé karoserie.
- Vibrace – lemový spoj s použitím lepidla určitou mírou tlumí vibrace vznikající při provozu automobilu.


Vzhledem ke skutečnosti vzniklé kombinace lepení a lemování, vstupuje do výroby lepených lemových spojů velké množství proměnných parametrů, které velmi ovlivňují výslednou jakost těchto spojů. Zde jsou uvedeny hlavní nepříznivé vlivy:

- Geometrie lemu – nejdůležitějším parametrem jakostního lemového spoje je optimální geometrie lemu. Se současným trendem ve zmenšování tloušťek plechů může docházet ke vzniku vtahů. Vtah se vyskytuje u tvarově složitějších dílů, a vytváří se na konci lepené

plochy lemového spoje. Je to vada, která je zvýrazněna s finálním lakem automobilu. Předcházet těmto vadám lze optimalizací procesu.

- Tloušťka plechu – tloušťka plechu, která se s novými modely automobilů kontinuálně zmenšuje (viz tabulka 2) má vliv na výsledné charakteristiky lemového spoje, jakými mohou být odpružení plechu apod.

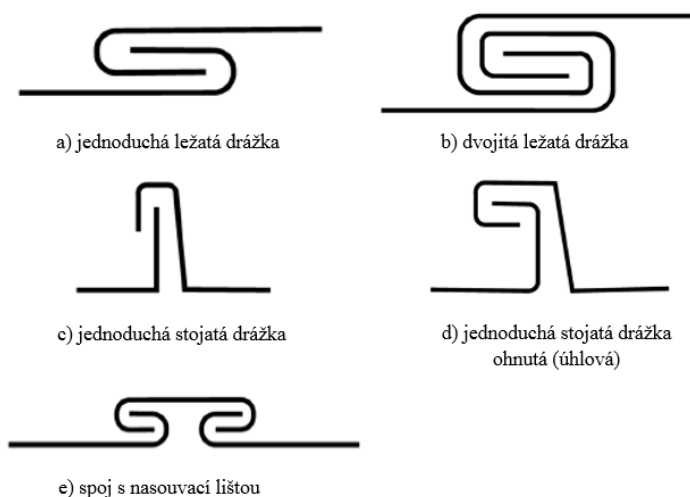
Tab. 2 Vývoj tloušťky ocelových plechů vybraných výlisků u Škody Octavia [2]

			
	Octavia I	Octavia II	Octavia III
	Tloušťka (mm)		
Kapota	0,75	0,70	0,68
Přední blatník	0,75	0,75	0,65
Střecha	0,80	0,75	0,70
Postranice vnější	0,75	0,75	0,70
Povrchové dveře	0,80	0,70	0,68
Vnitřní dveře	0,80	0,75	0,70

- Čistota ploch – jak již bylo zmíněno v kap. 2.1 pro jakostní lepený spoj je důležitá čistota kontaktních ploch adherendu. Vzhledem ke skutečnosti, že výlisky nejsou nijak čištěny po technologii tváření, vyskytuje se na lepených plochách mazivo, prach, špony a další nečistoty.

### 2.3.1 Druhy lemových spojů

Existuje mnoho druhů lemových spojů, a jak již bylo řečeno, jsou používány v mnoha odvětvích. Základem pro definování tvaru lemového spoje je norma používaná v klempířství ČSN 73 3610 – *Navrhování klempířských konstrukcí*. Na obrázku 11 je poukázáno na ty nejpoužívanější lemové spoje.



Obr. 11 Základní druhy lemových spojů (drážek) podle normy ČSN 73 3610 [20]

Tyto způsoby spojování jsou stejné pro všechny druhy materiálů, jako je ocel, hliník, měď, zinek atd. Je nutné si uvědomit, že takto zhotovené spoje nikdy nejsou zcela vodotěsné [20]. Tato skutečnost je jedním z důvodů, proč se do lemových spojů při stavbě automobilů umisťuje lepidlo. Podle normy ČSN 73 3610 je automobilový lepený lemový spoj definován jako jednoduchá stojatá drážka.

V automobilovém průmyslu jsou převážně používány dva druhy lepených lemových spojů. Prvním z nich je lemový spoje typu A používaný na všech panelových dílech v kombinaci s epoxidovým lepidlem (viz obrázek 12). Druhý spoj typu B znázorněný na obrázku 13 je využíván na zadních podběžích karoserie ve spojení s epoxidovým v některých případech i kaučukovým lepidlem.

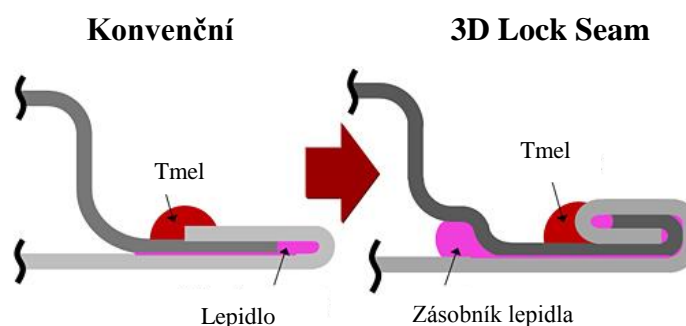


Obr. 12 typ lemu A



Obr. 13 Typ lemu B

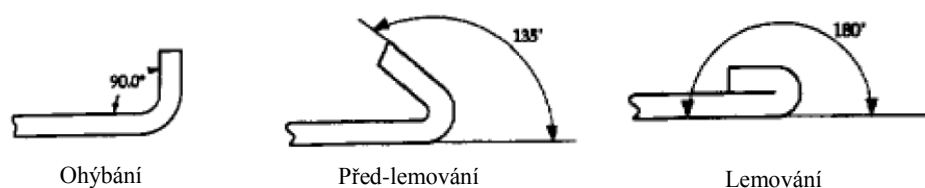
Další typ lemu byl uveden na trh v roce 2013 firmou Honda Motor Co. Automobil Honda Acura, který má namísto ocelových vnějších plechů bočních dveří plechy hliníkové. Honda Motor Co. musela odstranit bodové svary, které sloužily pro fixaci vnějšího a vnitřního výlisku bočních dveří po technologii lemování z důvodu nesvařitelnosti hliníku a oceli. Proto začala na těchto dílech používat lepený lemový spoj znázorněný na obrázku 14. Podle výrobce je nazýván 3D Lock Seam, tedy uzavřený lem. Jedná se o spoj, u kterého je ocelový i hliníkový výlisek dvakrát vrstven [7].



Obr. 14 Porovnání konvenčního s lemovým spojem Honda [7]

### 2.3.2 Způsob výroby lemových spojů

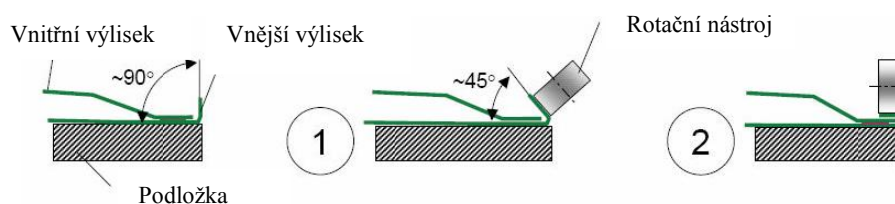
Automobilový průmysl využívá dvou způsobů výroby lemových spojů. Prvním z nich je konvenční způsob (viz obrázek 15) a druhým je rotační lemování (viz obrázek 16) [21].



Obr. 15 Výroba lemového spoje konvenčním způsobem [21]



Konvenční způsob obsahuje dva, v některých případech tři kroky výroby lemového spoje, záleží na skutečnosti, zda je již plocha pro budoucí lem výlisku vnějšího plechu před lemováním ohnuta na  $90^\circ$ . V případě bez předem ohnuté plochy vnějšího plechu je v prvním kroku daná plocha ohnuta na  $90^\circ$ , druhý krok je nazýván před-lemovacím, kde je již ohnutá část ohýbána o dalších  $45^\circ$ . Posledním krokem je lemování, ve kterém vznikne lemový spoj. Nástrojem je lemovací zařízení s několika otočnými čelistmi, které vykonávají celý proces [21].



Obr. 16 Výroba lemového spoje rotačním způsobem [21]

Rotační lemování zajišťuje válcový nástroj rotující kolem své osy, který několikrát opíše obvod lemovaného dílu a postupně vytvoří lemový spoj. U této metody musí mít lemovaný plech předem vytvořené ohnutí o velikosti  $90^\circ$ . Nástroj je upnut v orientačním ústrojí robotu [21].

V současnosti je kladen velký důraz na design automobilu, z tohoto důvodu jsou panelové díly tvarově složitější. Dalším důležitým kritériem je přesnost výroby lemových spojů. Každá z uvedených metod má svá úskalí. Většina lemovacích nástrojů je navržena na základě zkušeností a dlouhých a nákladných testů [21].

Jednou z možností jak metodu rotačního a konvenčního lemování nahradit, je lemování na principu elektromagnetu [21]. Využívá se odpudivých účinků dvou nesouhlasných magnetických polí, jedno je tvořeno cívkou a druhé tvářeným materiálem. Vzniká tlakový účinek od silného magnetického pole na elektricky vodivé kovy. Proud vzniklý rychlým vybitím cívkou se indukuje v tvářeném materiálu ale s opačným smyslem a tím i opačným magnetickým polem a tvářený materiál se deformuje [22]. Výhodou je přesné nastavení a ovládání tvářecí energie. Tato metoda je výhodnější pro lemování hliníkových plechů [21].

### 2.3.2.1 Technologie lemových spojů v automobilovém průmyslu

Princip průmyslové sériové výroby dílů karoserie obsahující lepené lemové spoje je ve většině automobilových společností podobný. Na karoserii se nachází v průměru 20 – 25 m délky lemových spojů. Jak již bylo řečeno, lemové spoje se nachází na:

- přední dveře pravé, levé,
- zadní dveře pravé, levé,
- páté dveře,
- kapota,
- zadní podběhy.

Výroba zmíněných lepených lemových spojů probíhá ve svařovně následujícím způsobem:

#### 1. Nanesení housenky

Housenka lepidla o daném množství je nanesena na vnější lepený díl po celé délce budoucího spoje. Nanášená housenka je rozdělena do několika desítek sekcí, které jsou rozděleny, to umožňuje snadněji optimalizovat proces nanášení lepidla. Lepené povrchy nejsou před nanášením lepidla nijak chemicky čištěny. Pro nanášení lepidla slouží zcela automatizované pracoviště skládající se z dávkovacího a nanášecího zařízení.

Nanášecí zařízení je fixováno s orientačním ústrojím robotů, které jsou napojeny na dávkovací zařízení. Toto zařízení se skládá z trysky, která aplikuje lepidlo přímo na povrch. Lepidlo je nanášeno ve formě housenky pomocí tlakové trysky, nebo prostřednictvím moderních metod na bázi rozkmitu trysky v elektrostatickém poli. U první varianty je velikost housenky ovlivněna rychlostí nanášení nebo velikostí trysky [3]. Mezi moderní možnosti nanášení housenky patří E-Swirl (viz obrázek 17) a AIR Swirl, které využívají pro aplikaci lepidla rotační trysku. U těchto technologií je housenka lepidla nanášena ve formě šroubovice. Rotace trysky je docílena využitím elektrostatického pole. Výhodou těchto moderních metod oproti celistvě nanesené housence je preciznější dávkování množství lepidla a zároveň je lepidlo distribuováno plošně tak, jak je požadováno [1, 25].



*Obr. 17 Porovnání technologií nanášení lepidla  
Obr. vlevo: aplikace pomocí tlakové trysky firmy SCA  
Obr. vpravo: aplikace pomocí rotační trysky, tzv. E-Swirl technologie [1]*

Další možností je nanášením dvou housenek kontinuálně vedle sebe, kde blíže k okraji plechu je nanášeno epoxidové lepidlo a vedle něj ve druhé housence je kaučukové lepidlo. Velkou výhodou tohoto způsobu nanášení je velká škála možností jak optimalizovat proces lepení. Nevýhodou může být vyšší pořizovací cena zařízení vzhledem k nutnosti dvou dávkovacích a nanášecích zařízení.

Dávkovací zařízení se skládá: z trubky vedoucí od nanášecího zařízení, dále pumpy, jenž slouží jako zdroj tlaku v systému. Pumpa je spojena s nádobou obsahující lepidlo a je uzavřena víkem s těsněním. Tato nádoba, je ve většině případů v podobě sudu, který je dodáván dodavatelem lepidel. [25]

## **2. Spojení výlisků**

Z hlediska tvaru vnějšího výlisku, je již z lisovny opatřen ohnutým okrajem plechu o velikosti  $90^\circ$ . Jak již bylo zmíněno v kap. 2.3.2, je to minimální úhel, pod kterým lze vytvořit lem v jedné operaci. Výška ohnutí není konstantní, z čehož vyplývá, že velikost přehybu budoucího lemu není po celé délce dílů stejná.

Vnější výlisek obsahující nanášené lepidlo na požadované ploše je robotem vložen do sesazovacího přípravku. Následně jiný robot umístí vnitřní výlisek na vnější díl a dojde k sesazení dílů. Vzájemnou polohu obou rozměrných spojovaných součástí zajišťují uchopovací prvky robotu, který je takto fixované vloží do lemovacího zařízení.

## **3. Výroba samotného lemového spoje**

V této operaci dochází k ohybu předem ohnutého okraje z  $90^\circ$  na  $0^\circ$ , tedy ze svislé do rovnoběžné polohy. Doba operace lemování se pohybuje kolem 20 sekund. V důsledku působení síly lisu dochází k rozprostření lepidla do všech

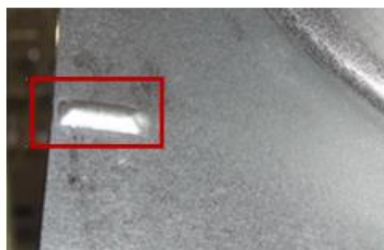
míst lemového spoje po celé délce i šířce. Množství lepidla vneseného do spoje je ve většině případů nastaveno tak, aby nemusela obsluha výrobní linky odstraňovat přebytečné lepidlo vyteklé ze spoje ven a zároveň, aby lepidlo ve spoji nechybělo [5].

Výroba probíhá v lemovacím zařízení, což je ve své podstatě hydraulický lis s několika pohyblivými čelistmi. Nejprve je okraj výlisku ohnut bočními čelistmi z  $90^\circ$  na  $45^\circ$  a poté je pomocí horních čelistí dohotoven na konečných  $0^\circ$ . Na těchto lisech je možné volit velikost dráhy posouvajících se čelistí. Tím je vyřešen problém zajištění vhodné tloušťky lepidla [5].

U některých dílů tvořených složitějšími tvary je úhel předem ohnutého okraje výlisku větší než  $90^\circ$ . Proto je do procesu vložena další operace mající vlastní zařízení, které ohne okraje na požadovaných  $90^\circ$  a až následně je díl přesunut do lemovacího zařízení.

Otázka fixace vnějšího a vnitřního výlisku již spojeného lemovým spojem s nevytvrzeným lepidlem je vyřešena těmito způsoby:

- a) želatinace - v minulých letech byly všechny zalemované díly následně umístěny do zařízení s indukčními cívkami, které způsobily předvytvrzení (želatinování) lepidel. Tato technologie se používala za účelem zvýšení pevnosti a stability dílu, s kterým se před finálním vytvrzením při kataforetickém lakování (KTL) ještě manipuluje [3]. V současnosti je tato technologie na ústupu vzhledem k velké energetické náročnosti na ohřev a prodloužení výrobního času jednotlivých dílů a využívá se pouze v některých případech.
- b) pojistné výstupky – jde o mechanický způsob fixace dílů, u kterého je při tváření do vnitřního výlisku panelového dílu vlisován určitý počet výstupků o malých rozměrech (viz obrázek 18). Výstupek je během technologie lemování částečně vtlačen do vnějšího výlisku, tím jsou díly vzájemně fixovány.



Obr. 18 Pojistný výstupek [2]

- c) variopicker – jedná se o jednostranný bodový svar. Ukázka výroby je znázorněna na obrázku 19. Jedná se o princip nepřímého bodového odporového svařování, kde do požadovaného místa na přehybu spoje je přitisknuta bodová elektroda, druhá elektroda s větší styčnou plochou je situována na vhodnou plochu v blízkosti první elektrody.



Obr. 19 Ukázka výroby variopickeru [12]

- d) MIG, MAG – některé díly jsou fixovány svarovou housenkou vytvořenou obloukovou metodou MIG nebo MAG. Svarová housenka je umístěna na rozhraní konce přehybu a vnitřního výlisku.

#### 4. Kompletace karoserie

Vyrobené panelové díly fixované lemovanými spoji se zatím nevytvrzenými lepenými spoji jsou montovány na karoserie, které již obsahují lemové spoje. Dochází ke kontrole a případným úpravám nerovností povrchů karoserie ve světelném tunelu.

#### 5. Vytvrzení lepidla

K vytvrzení všech svařovenských lepidel dochází při procesu lakování. Technologie kataforetického nanášení barviva je podle [3] *založena na máčení lakovaných součástí ve vodou ředitelné pigmentové barvě za použití chemikálií nutných pro předúpravu lakovaných součástí*. Z pohledu teplotních vlivů na lemový spoj při lakování, prochází spoj těmito podmínkami:

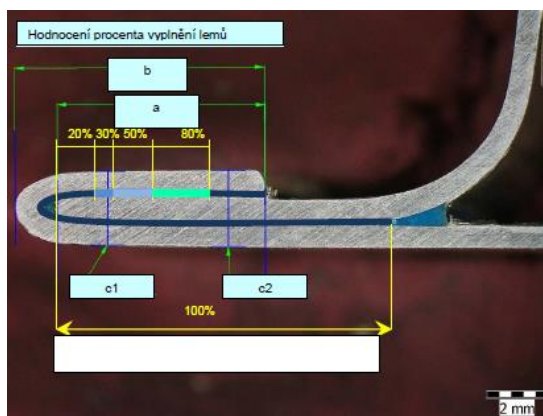
- 180°C / 30 min      vypálení základní barvy, vytvrzení lepidel,
- 120°C / 15 min      želatínace plastizolu na bázi měkčeného PVC,
- 160°C / 20 min      vypálení plniče,
- 120°C / 20 min      vypálení vrchní barvy [3].

Po KTL jsou přehyby lemových spojů překryty nanesenou těsnicí vrstvou na bázi PVC, která slouží především jako ochrana před vniknutím vody do vnitřku dílů, v neposlední řadě zvyšuje estetický dojem z pohledu na panelové díly z druhé nepohledové strany.

Po absolvování všech zmíněných procesů je lepený lemový spoj dokončen a splňuje veškeré své funkce.

### 2.3.2.2 Hodnocení lemových spojů v automobilovém průmyslu

Hodnocení lemových spojů v automobilovém průmyslu probíhá v určitých časových intervalech opakující se v určité periodicitě. Je dán systém zkoušek, které hodnotí geometrii lemového spoje, množství lepidla vyplňující spoj, vnitřní necelistvosti apod.



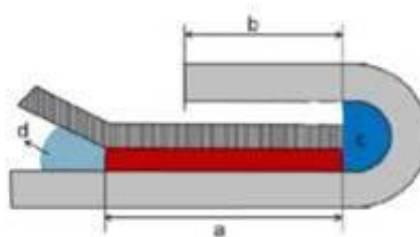
Obr. 20 Ukázka vyplnění lemového spoje lepidlem [23]

Při nanášení lepidla do míst budoucího spoje je požadováno takové množství lepidla, které vytvoří jakostní pevnostní spoj, tedy lepidlo vyplní celý lemový spoj a zároveň nevytéká ze spoje ven, tak jak je tomu na obrázku 20.

Provádějí se destruktivní i nedestruktivní zkoušky. Nedestruktivní zkoušky jsou založené na principech zkoušek lepených spojů z kap. 2.1.5, avšak v největším měřítku jsou prováděny tyto destruktivní provozní zkoušky:

#### 1. Destruktivní zkouška

Tato zkouška se provádí na karoserii, která již prošla procesem KTL. Na určitých místech karoserie jsou provedeny výřezy vzorků, které slouží pro metalografickou zkoušku a u zbylých částí lemových spojů se provádí mechanické otevření spoje za pomoci sekáče. Vyškolený personál hodnotí lemové spoje ve třech oblastech znázorněných na obrázku 21.



Obr. 21 Příčný výbrus - oblasti hodnocení [2]

### Oblast a

V této oblasti je hodnocena existence a množství lepidla v celé šířce a délce lemového spoje, druh a množství vnitřních vad.

### Oblast b

U oblasti *b* se hodnotí pouze existence a množství lepidla s již zmíněným požadavkem nevytékání lepidla ven ze spoje.

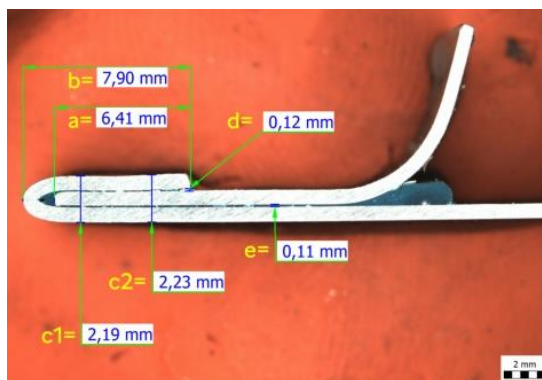
### Oblast c

V této oblasti je hodnocena pouze existence lepidla vzhledem k malému rozměru tloušťky plechu.

Oblast *d* není hodnocena v této zkoušce, ale částečně je klasifikována ve zkoušce průnikem barvy.

## 2. Metalografická zkouška

Metalografická zkouška koresponduje s předchozí zkouškou a hodnotí se metalografické výbrusy z již zmíněných výřezů. Proškolený pracovník připraví výřezy vzorků pro hodnocení optickým mikroskopem. Výsledek metalografického výbrusu je znázorněn na obrázku 22, kde je možné sledovat hodnocené parametry. Mezi nejdůležitější kritéria patří: existence lepidla, chybná místa na oblasti *a*, *b*, *c*, dále délka překrytí vnitřního výlisku přehybem apod.



Obr. 22 Hodnocení metalografického výbrusu [2]

### **3. Zkouška průniku barvy**

Princip této zkoušky spočívá v nalití speciální barvy do vnitřku hodnoceného dílu po celé délce lemového spoje. Po zapečení barvy v průmyslové sušárně následuje mechanické otevření lemu pomocí sekáče. V této zkoušce jsou hodnoceny vnitřní vady zvýrazněné případným průnikem barvy.

### **4. Pravidelná vizuální zkouška**

Obsluha linky pravidelně provádí vizuální zkoušku, při které mechanicky otevře lemový spoj pomocí sekáče a hodnotí existenci a množství lepidla. V případě nepřijatelného výsledku udělá úpravu dráhy nanášecího zařízení nebo množství lepidla. Opětovně otevře upravený díl, v případě pozitivního výsledku, ho odloží na pracovní stůl, kde je vyhodnocen proškoleným pracovníkem.



## 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 3.1 Cíl experimentu

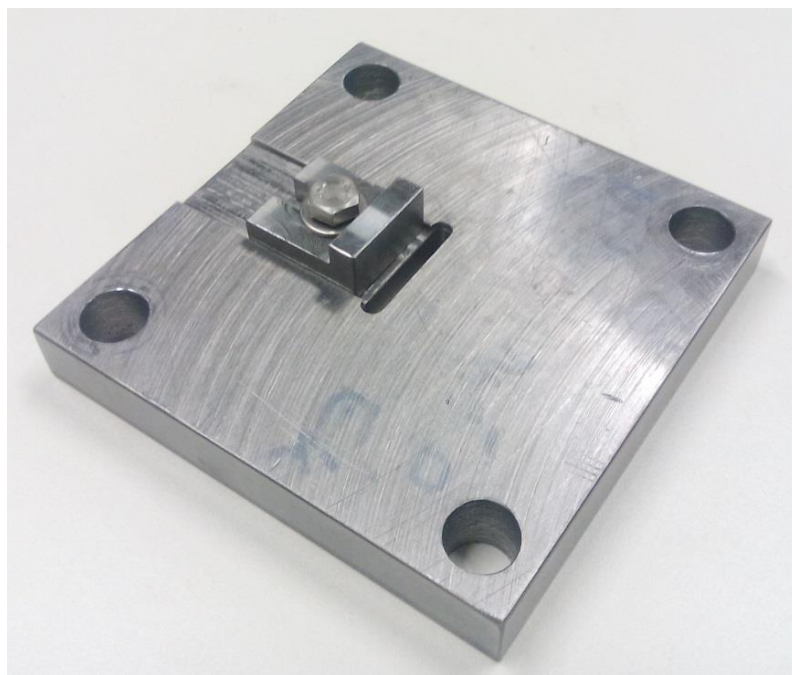
Zadání diplomové práce vychází z potřeb automobilového průmyslu a její řešení bylo realizováno v rámci spolupráce katedry strojírenské technologie a společnosti ŠKODA AUTO a.s. Trendem dnešních dní je přibližovat laboratorní výsledky reálným podmínkám zatěžování. Cílem experimentu je vytvoření takové metodiky, která umí objektivně hodnotit lemové spoje jak z hlediska pevnostních charakteristik, tak z hlediska systému zatěžování. Tato práce navazuje na diplomovou práci z roku 1995 Hodnocení pevnosti lepeného lemového spoje [5]. Od roku 1995 technologie lepení udělala velký pokrok. Zlepšily se vlastnosti lepidel a s nimi se mnohonásobně zvýšila i jejich pevnost. Z tohoto důvodu není možné metodiku hodnocení ze zmíněné práce zcela použít.

Na základě této metodiky bude možné konstatovat nejen číselné hodnoty pevnosti spojů (vztažené na velikost spoje), ale také možnost porovnání s pevností lepených spojů získaných z nejpoužívanějších destruktivních zkoušek popsanych v kapitole 2.1.5. Další uplatnění metodiky se nachází v porovnání vzorků s různými vlivy vnesenými do výroby lepených lemových spojů. Tyto vlivy mohou být: druh a množství maziva, druh a množství lepidla, druh adherendu (Al, Ocel), druh povlaku, kombinace lepeného spoje s jinou technologií spojování (bodové odporové svařování, laserové pájení) apod.

Základem pro tvorbu zkoušky hodnocení lepených lemových spojů, bylo navrzení a vyrobení vhodného testovacího přípravku. Podle funkčních rozměrů přípravku byly navrženy rozměry vzorků a samotná metodika výroby spojů, u které bylo cílem dosáhnout v určitých měřítkách spoje shodného s reálným sériově vyráběným. Pro ověření funkčnosti metodiky byly vybrány adherendy i adheziva používané na karoseriích v sériové výrobě. S ohledem na pevnosti současných lepidel je zřejmé, že navržená metodika hodnocení lemového spoje má své limity právě s ohledem na pevnost lepidla a vyrobeného lemu. Při použití nevhodné kombinace lepidla a substrátu dojde k přetržení substrátu při zkoušce. Pro hodnocení např. pevnostních epoxidových lepidel by mohla být použita zkouška na odlup popsaná v kapitole 2.1.5.

## 3.2 Návrh přípravku

Pro samotné testování lepeného lemového spoje (dále pouze lemového spoje) byl navržen a vyroben přípravek znázorněný na obrázku 23, umožňující testování spojů na zkušebním stroji TIRAtest 2300. Základem přípravku je ocelová deska vyrobená z materiálu EN ČSN 11 500, která je osazena čtyřmi otvory pro upnutí do příčnicku zkušebního stroje. Přípravek lze použít na jakémkoliv zkušebním stroji, který má shodnou rozteč otvorů s upínacími otvory přípravku. Dále se na přípravku nachází drážka pro průchod lemového spoje a vybrání sloužící pro pohyb dorazu, ve kterém se nachází závitová díra. Samostatnou součástí je doraz, který slouží k upnutí spoje do přípravku a eliminaci ohybu vzorku. Po ustavení dorazu do správné polohy je doraz aretován pomocí šroubu, který využívá závitové díry v základové desce. Doraz je vyroben ze stejného materiálu jako základová deska. Žádné těleso přípravku není tepelně zpracováno ani opatřeno povlakem. Kompletní výkresová dokumentace je dostupná v příloze 1.



Obr. 23 Přípravek pro zkoušení lepených lemových spojů

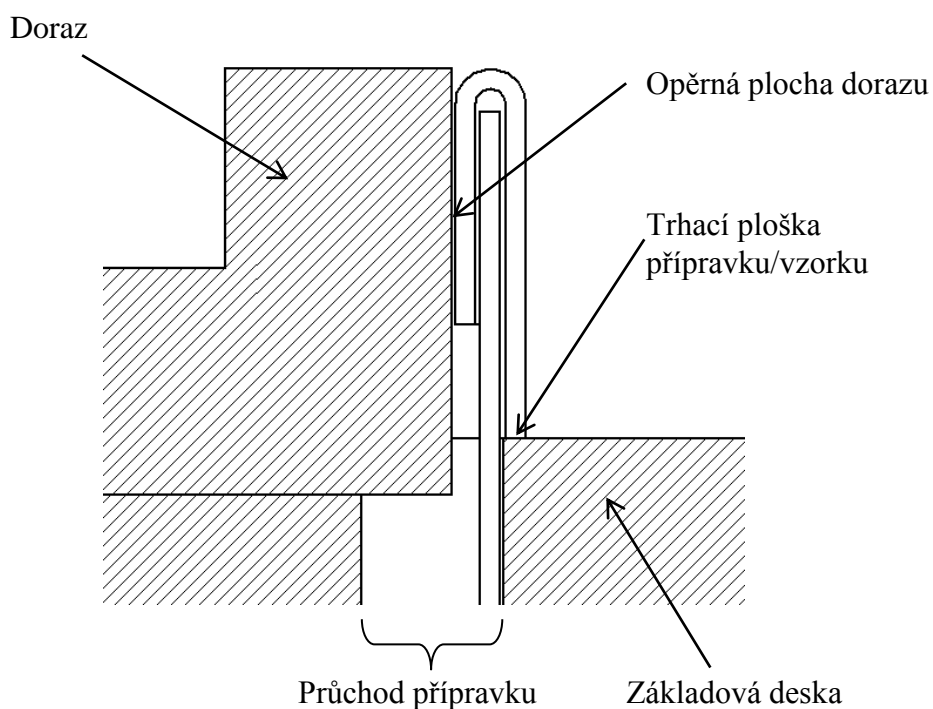
Před samotným návržením byly stanoveny tyto základní požadavky, které by měl přípravek splňovat:

- univerzálnost použití – přípravek by měl být použitelný pro testování lemových spojů vyrobených z různých tloušťek lepidel a spojovaných materiálů

- tuhost – konstrukce základové desky, navržena tak, aby se při zatížení neprohýbala
- pevnost – taková pevnost materiálu přípravku, aby nedocházelo k destrukci funkčních částí
- otěruvzdornost – tato vlastnost je požadována především na povrch materiálu, který přenáší zatěžující sílu

### 3.2.1 Instrukce k použití přípravku

Pro snazší vysvětlení metodiky testování vzorků, budou nejprve definovány názvy jednotlivých částí přípravku, které jsou zobrazeny na obrázku 24.



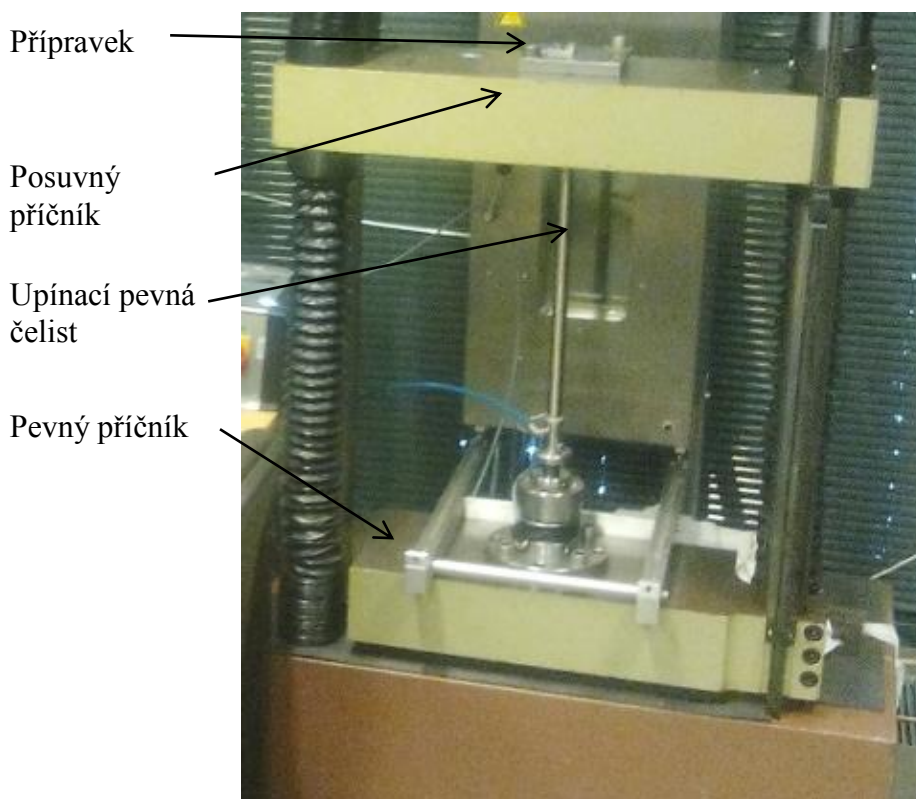
Obr. 24 Názvosloví důležitých částí přípravku

#### 3.2.1.1 Ustavení přípravku do zkušebního zařízení

Přípravek je ustaven do posuvného příčnicku a upínací čelist je upnuta v dolním pevném příčnicku zkušebního zařízení TIRAtest 2300 (viz obrázek 36). V kombinaci přípravku s TIRAtest 2300 bylo možné volit ze dvou níže popsaných variant.

## Varianta A

Přípravek je upnut na horní plochu posuvného příčnicku pomocí dvou nebo čtyř šroubů. Variantu A (viz obrázek 25) lze provést pouze v případě, kdy má příčník ve svislé ose zařízení kruhový výřez umožňující posuv čelisti o menším průměru než je otvor směrem do příčnicku. Tím je zaručena minimální vzdálenost mezi čelistí a přípravkem. Tato skutečnost usnadňuje upínání vzorků. Výhodou je jednoduché ustavení a upínání vzorku. Mezi nevýhody patří: nutnost čelistí s válcovým tělem, omezený pohled na první nastavení koncové polohy příčnicku a nebezpečí poškození zařízení z důvodu najetí čelistí do příčnicku při nastavování vhodné polohy. Tato varianta byla použita pro experiment v této práci.



Obr. 25 Upnutí přípravku do zkušebního zařízení TIRAtest 2300 podle varianty A

## Varianta B

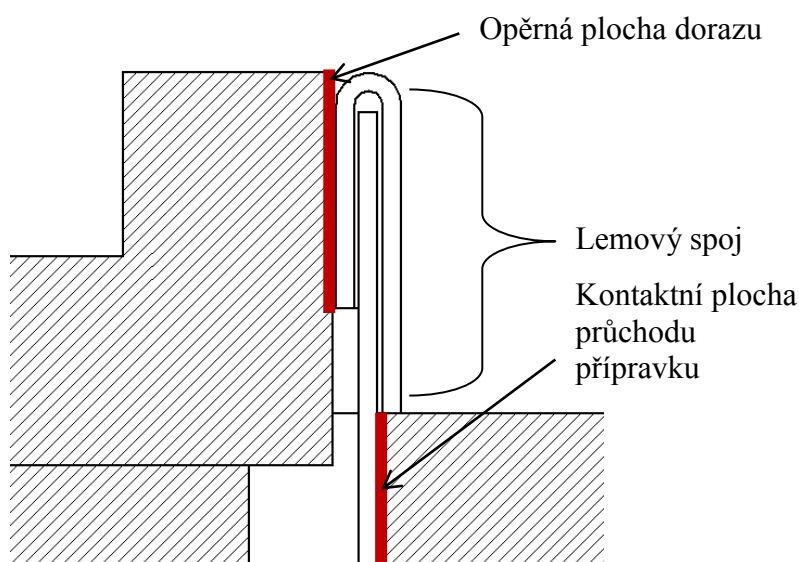
Variantu B je nutné použít v případě větších čelistí, které nejsou schopné posuvu do otvoru příčnicku. Upnutí spočívá v umístění přípravku pod spodní plochou posuvného příčnicku, kde upnutí je provedeno čtyřmi šrouby s delším dřikem, na který je nasunuto distanční pouzdro, které vymezuje vzdálenost mezi dolní plochou příčnicku a horní plochou přípravku. Čím delší pouzdra a šrouby jsou, tím lepší je

dostupnost pro obsluhu přípravku. Výhodou je lepší pohled na celý přípravek při samotné zkoušce a možnost testování na jakémkoliv zařízení. Nevýhodou je nutnost distančních pouzder a obtížnější upínání vzorků.

### 3.2.1.2 Ustavení vzorku do přípravku

Ustavení vzorku do přípravku probíhalo podle následujícího postupu:

1. Aplikace maziva - na dané plochy vzorku, zvýrazněné červenou barvou na obrázku 26, bylo rozetřeno mazivo sloužící pro eliminaci smykového tření. Mazivo slouží pouze jako opatření v případě kontaktu zmíněných ploch přípravku s lemovým spojem. Do budoucna se předpokládá použití PTFE vložky na třecí plochy.



Obr. 26 Zvýrazněné kontaktní plochy s aplikovaným mazivem

2. Nastavení polohy pohyblivého příčnicku – bylo nutné najít takovou polohu příčnicku, při které je lemový spoj po upnutí do čelistí co nejblíže poloze na obr. 27. Nicméně tato operace se týkala pouze prvního nastavení zkušebního zařízení. Po nastavení nulové polohy se příčnick po ukončení zkoušky vždy vracel do této polohy.
3. Umístění lemového spoje - lemový spoj byl vložen do přípravku tak, že přehyb spoje se nacházel blíže k dorazu (viz obrázek 26). Tím bude trhací ploška vzorku v kontaktu s trhací ploškou přípravku a bude se tedy přednostně deformovat tato plocha, která je u sériových lemových spojů ve většině případů zcela pokryta souvislou vrstvou lepidla. V případě, že by

byl vzorek naorientován opačně, mohlo by se stát při zatěžování vzorku, že část plechu s kratší lepenou plochou by se ohnula a zkouška by byla hodnocena jako neplatná. Dále proběhla kontrola správné polohy vzorku, tedy rovnoběžnost vzorku se svislou osou zařízení. Tato kontrola je důležitá vzhledem k zatěžující síle.

4. Poloha dorazu - doraz byl přisunut ke vzorku tak, aby trhací ploška vzorku byla opřena o trhací plošku přípravku. Zároveň bylo snahou minimalizovat dotyk mezi kontaktní plochou dorazu a přehybem vnějšího plechu.
5. Upnutí vzorku - vzorek byl upnut mezi čelisti.
6. Úprava polohy příčnicku – po upnutí vzorku nastala situace, při které se vzorek z původní polohy vysunul směrem nad přípravek. Proto byl ručním posuvem zařízení posuvný příčník uveden do polohy, ve které byla minimální vůle mezi trhací ploškou přípravku a vzorku.

### 3.3 Popis metodiky

Posloupnost jednotlivých operací metodiky výroby lemových spojů byla určena z reálné sériové výroby, které se snažila maximálně přiblížit. Avšak bylo jisté, že v některých skutečnostech bylo nutné udělat kompromis a metodiku částečně „idealizovat“.

Vyráběné vzorky, stejně tak jako v reálné výrobě karoserií se skládaly ze dvou částí, vnitřní a vnější. Na rozdíl od reálných dílů je šířka těchto vzorků pouze 25 mm. Vzorky jsou tvořeny pouze rovinnými plochami oproti skutečným automobilovým dílům, které jsou tvořeny i zaobleným lemovým spojem [5].

Pro přiblížení sériově vyráběným lemovým spojům, bylo nutné zjistit jejich průměrnou hodnotu délky přehybu. Tato hodnota se pohybovala v průměru kolem 8 mm, avšak v tomto experimentu byla omezena hodnotou minimální vzdálenosti (8,5 mm) dorazu ohraňovacího lisu potřebného pro výrobu. Delší strana vnějšího plechu se na karoseriích pohybuje v rozmezí 10 – 20 mm. Proto bylo rozhodnuto, že délka této části u laboratorních vzorků by se měla také pohybovat v tomto intervalu a přesné hodnoty budou určeny až podle výsledků prvních vzorků.

Lemové spoje byly vytvrzeny v průmyslové sušárně při teplotě 180°C po dobu 20 min. Tyto tepelné podmínky se v určitých měřících shodují s procesem KTL ve Škodě Auto a.s.

Přes veškerou snahu vytvořit všechny vzorky ve stejné jakosti, je nutné si uvědomit, že byly vyráběny ručně. Z tohoto důvodu se vyráběné parametry, jako poloměr přehybu lemového spoje, velikost lepených ploch apod. mohou v určitém měřítku lišit.

Pro výrobu prvních ověřovacích vzorků byla vybrána kombinace adherendu a adheziva uvedená v tabulce 3. Tato kombinace se nejvíce blížila kombinaci používané při stavbě karoserií. Lepené plechy měly tloušťku 0,68 mm.

Tab. 3 Souhrn ověřovacího experimentálního měření

Souhrn ověřovacího experimentálního měření	
Vybraný adherend	HX 300 LAD + Z100 MCO
Vybrané lepidlo	Betamate 1440G

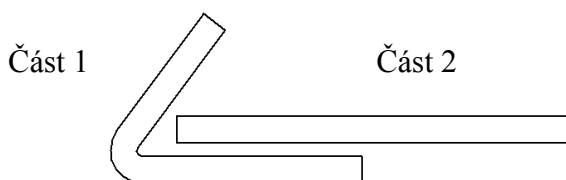
### 3.3.1 Popis výroby vzorků lepeného lemového spoje

Pro vyšší produktivitu práce bylo rozhodnuto o výrobě lemových spojů s délkou 150 mm, které byly následně na metalurgické pile děleny na čtyři hotové vzorky a zbývající okraje sloužily pro metalografickou zkoušku.

Hotový vzorek se skládá ze dvou částí. Část 1 je vnější a část 2 je vnitřní. Šířka vzorků byla zvolena 25 mm. Vzorek po ohnutí je znázorněn na obrázku 27.

Část 1: Byla tvořena plechovým páskem tvořený dvěma rovnými částmi svírajícími úhel cca 28° s vnitřním poloměrem 0,7 mm. Délka kratší rovné části byla 8 mm a délka delší části se pohybovala v rozmezí 10 – 15 mm z důvodu tří různých souborů vzorků.

Část 2: Je plech o šířce 25 mm a délce 65 mm. Hodnota délky 65 mm byla takto zvolena z důvodu jednoduššího upnutí do svěráku metalurgické pily při dělení dlouhých lemových spojů.



Obr. 27 Vzorek s vyznačenými částmi po ohnutí

Postup výroby laboratorního lepeného lemového spoje probíhal podle následujícího postupu:

1. Nástřih plechů – z tabulí plechu byly na elektromechanických tabulových nůžkách MS 2504 od firmy DURMA (viz obrázek 28) nastříhány dva různé pásy plechu. První pás tvořící vnitřní část vzorku měl rozměry 150x65 mm. Druhý pás plechu, z kterého byla následně vyrobena vnější část vzorku, měl rozměry 150x21 mm.



*Obr. 28 Elektromechanické tabulové nůžky DURMA MS 2504*

2. Ohnutí části 1 - ohnutí této části bylo provedeno na ohraňovacím lisu APHS 2104x60 (viz obrázek 29). Z dostupných ohybníků a ohybnic byla vybrána ta sada, umožňující vyrobít co nejmenší úhel. V případě tohoto experimentu to byla sada s možností úhlu ohybu 28°.



*Obr. 29 Ohraňovací lis APHS 2104x60*

3. Orýsování části 2 - následovalo orýsování rýsovací jehlou již připravených pásů plechu, které slouží pouze pro usnadnění následného nanášení lepidla. Z jedné strany části 2 je vzdálenost od okraje lemu 8,5 mm pro kratší stranu přehnutí části 1 a pro druhou stranu je to zhruba 11 - 16 mm.



4. Odmaštění obou částí – obě části bylo nutné odmastit od všech mastnot v předem připravené lázni s roztokem C-sol Extra, jehož chemické složení je v příloze 2. Takto odmaštěné plechy jsou již připravenými polotovary pro výrobu spoje lepením. Postačilo by odmaštění jen těch částí plechu, na které bude v další operaci naneseno lepidlo. Avšak pro eliminaci nežádoucího posuvu hotového vzorku v čelistech během samotné zkoušky, byl odmašťovací roztok aplikován na celý povrch pásů plechu. Toto je důležité především pro vyšší pevnosti lepidel, u kterých je dosahováno větších zatěžovacích sil při zkoušce.
5. Nanášení housenek – vzhledem k možnosti úniku lepidla do směru šířky lemu, nebylo možné dosáhnout skutečné situace při výrobě lepených lemových spojů, u kterých, jak již bylo uvedeno v kapitole 2.3.2.1, se ve většině případů používá jedna housenka. Proto bylo rozhodnuto o nanesení dvou housenek po jedné na každou stranu části 2. Housenky byly nanášeny na okraj plechu po celé šířce, tedy 150 mm. Ve všech případech se jednalo o housenku o větším množství, které bylo během lemování vytlačeno. Ukázka nanesené housenky lepidla je znázorněna na obrázku 30.



*Obr. 30 Ukázka nanesené housenky lepidla*

Lepidlo bylo nanášeno pomocí ruční pistole obsahující kartuši s daným lepidlem (viz obrázek 31). Pro nanášení epoxidových lepidel je vhodné umístit kartuši s lepidlem do sušárny či jiného zařízení, které umožňuje vyvinout vyšší teplotu než má okolní prostředí. Vlivem zvýšené teploty má lepidlo vyšší tekutost, lze ho tedy snadněji nanášet.



*Obr. 31 Ruční pistole s kartuší lepidla*

6. Lemování - lepený lemový spoj byl vyroben na hydraulickém lisu DC2-7 znázorněném na obrázku 32. Proces lemování probíhal tak, že část 2 byla přiložena na delší plochu části 1 s naneseným lepidlem. Po kontrole polohy obou částí, následovalo zalemování vzorku, prostřednictvím ocelového čtyřhranného profilu umístěného na přehybu části 1.



*Obr. 32 Hydraulický lis DC2-7*

7. Kontrola - po lemování následovala kontrola polohy lemu. Obě části vzorku si musí zachovat společnou rovnoběžnou polohu. V případě úhlového posunutí části 2 vůči části 1, je možné pomocí lisu upravit polohu části 2 do původní polohy.
8. Čištění vzorků - před umístěním zalemovaných vzorků do sušárny, bylo nutné odstranit vytlačené přebytečné lepidlo, které by po vytvrzení mohlo znesnadnit realizaci následného testu v přípravku. Proto bylo přebytečné lepidlo mechanicky odstraněno.

9. Vytvrzení vzorků - vytvrzení probíhalo za teploty 180°C po dobu 20 min v laboratorní sušárně VENTICELL 222 od firmy BMT (viz obrázek 33).



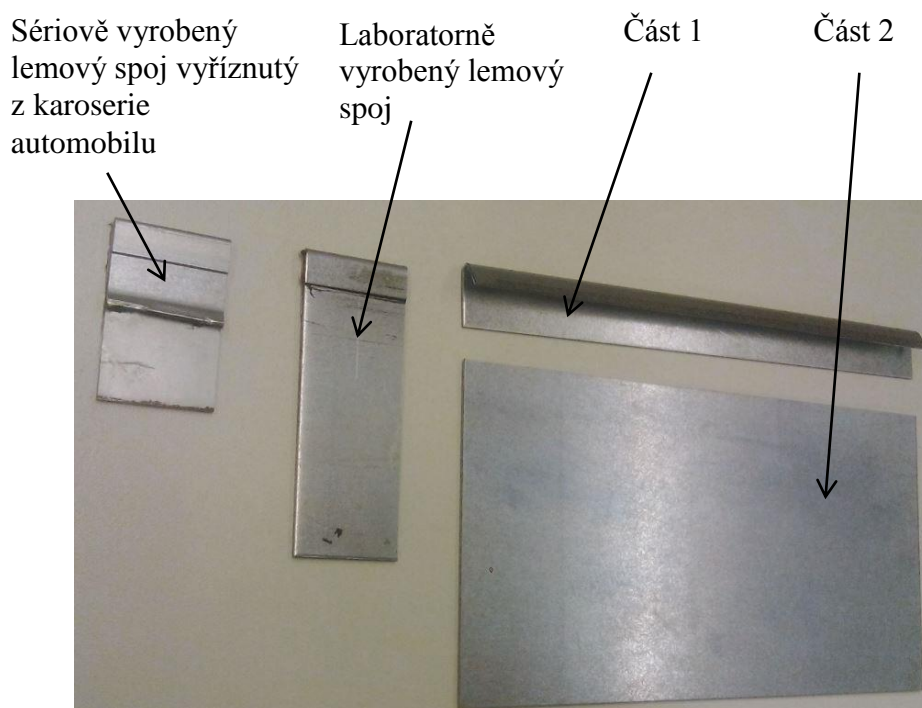
Obr. 33 Laboratorní sušárna VENTICELL 222

10. Dělení vzorků - po vychladnutí lepených lemových spojů na běžnou teplotu okolí, byly spoje jednotlivě upnuty do svěráku metalografické pily BUEHLER (viz obrázek 34) a děleny na požadované rozměry. Jak již bylo řečeno v úvodu této kapitoly, z každého původního lemu o šířce 150 mm vznikly 4 kusy hotových vzorků širokých 25 mm a 2 krajní kusy se šířkou menší než 25 mm pro metalografickou zkoušku. Pro přesné odměření šířky vzorku byl vyroben doraz, který zaručoval přesnou šíři každého vzorku 25 mm.



Obr. 34 Metalografická pila BUEHLER

11. Příprava vzorků před lemovou zkouškou - poslední operací bylo očištění trhací plošky vzorku za pomoci odlamovacího nože pouze u těch vzorků, u kterých byla opětovně trhací ploška znečištěna. Je důležité, aby tato plocha byla čistá, v opačném případě by mohlo dojít k nežádoucímu skluzu zatěžovaného vzorku do průchodu přípravku během lemové zkoušky.
- Na obrázku 35 je ukázka jednotlivých částí 1 a 2 po absolvování bodu 4 ze zmíněného postupu výroby a vedle hotové vyrobené vzorky.



Obr. 35 Ukázka jednotlivých lemových spojů a jejich částí

Při výrobě vzorků byly řešeny tyto otázky zabývající se základními problémy metodiky výroby:

1. Tloušťka vrstvy lepidla – byla řešena zatěžující silou lisu a kuliček obsažených v lepidle. Po několika vyrobených a otestovaných vzorcích byl určen takový tlak (6,5 MPa) lisu, při kterém bylo dosahováno uspokojivých výsledků tloušťky lepidla. Kuličky obsažené v lepidle zapříčinily, že vzorky vždy obsahovali alespoň minimální tloušťku filmu lepidla odpovídající průměru kuliček.
2. Únik lepidla do stran – úniku bylo zabráněno širším lemovým spojem (150 mm) u kterého nebyly krajní vzorky s předpokládaným proměnlivým množstvím lepidla použity pro lemovou zkoušku.

3. Vzájemná poloha obou částí lemového spoje – před lemováním byla poloha kontrolována pouze zrakem. U vzorků, u kterých poloha plechů po lemování nebyla ideální, byla následně pomocí dalšího lisování upravena.

### 3.3.2 Popis metodiky zkoušení vzorků lepeného lemového spoje

Experimentální zkoušení vzorků lepeného lemového spoje byla prováděna na zkušebním stroji TIRAtest 2300 s vyhodnocením hodnot pomocí softwaru LabNet.



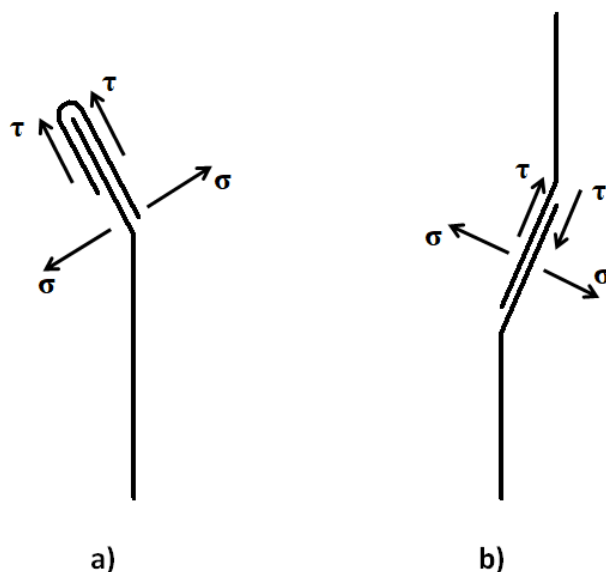
Obr. 36 Elektromechanický zkušební stroj TIRAtest 2300

Po absolvování všech kroků z kapitoly 3.2.1.2. bylo možné započít samotnou lemovou zkoušku pro zjištění pevnosti lepeného lemového spoje.

Během první zkoušky byl ověřen předpoklad, že pro přetržení části 2 vyrobené z plechu HX 300 LAD +Z100 MCO s mezí pevností  $R_m = 380 - 480$  MPa o tloušťce 0,68 mm a šířce 25 mm bylo potřeba menší zatěžující síly, než pro odtržení lemového spoje. Řešením byla volba jiného pevnějšího materiálu s větší tloušťkou části 2.

Při popisovaném způsobu zkoušení je lemový spoj namáhán na smyk, který je ovšem doprovázen v určité míře i napětím tahovým, vzniklým v důsledku malého ohybu vzorku směrem k dorazu. Tento ohyb je ovšem minimální a tak i tahové napětí bude nabývat malých hodnot, proto je v experimentálním měření zanedbáno. Podobná situace se nachází i u smykového tahové zkoušky, u které se také malá

tahová napětí zanedbávají. Silové působení u těchto dvou zkoušek je schematicky znázorněno na obrázku 37.



Obr. 37 Působení smykového  $\tau$  a tahového napětí  $\sigma$   
a) zkouška lemového spoje  
b) smyková tahová zkouška [5]

### 3.4 Experimentální měření

Z výsledku ověřovací série experimentálního měření, byl vytvořen seznam adherendů a adheziv znázorněných v tabulce 4 pro samotné experimentální měření.

Tab. 4 Souhrn experimentálního měření

Souhrn experimentálního měření	
Vybrané adherendy: - dva standardně používané v automobilovém průmyslu	HX 300 LAD +Z100 MCO HX 340 LAD+Z100 MBO
Vybraná lepidla: - dvě kaučuková lepidla používaná převážně mimo lemový spoj karoserií - dvě epoxidová lepidla používaná v lemových spojkách karoserií	Betaguard 214 BV Corabond V SikaPower 492G Betamate 1440
Odmašťovací přípravek	C-sol Extra
Zvolené mazivo	Bez maziva

Pro experimentální měření byly od každé kombinace zvoleného adherendu s lepidlem (viz tabulka 5) vyrobeny 4 zkušební vzorky pro lemovou zkoušku a 2 pro

metalografickou zkoušku. U spojů s epoxidovým lepidlem byla po zkušenostech z ověřovací experimentální zkoušky vyrobena pouze varianta s nejkratší délkou lepené plochy 21 mm (plech pro část 1 měl před ohybem rozměry 21 x 150 mm) v kombinaci s materiálem, který vyniká větší pevností v tahu a má tloušťku 1,2 mm oproti původní 0,68 mm. Kaučuková lepidla byla použita s v kombinaci s původním lepeným materiálem z ověřovacího experimentu o té samé tloušťce 0,68 mm. Bylo předpokládáno, že lepený materiál by měl vydržet větší zatěžující sílu než samotný spoj, vzhledem k menším pevnostem kaučukových lepidel.

Postup výroby lemových spojů probíhal přesně podle návodu, popsaném v kapitole 3.3.1. Mazivo nebylo na lepené plochy aplikováno, vzhledem k cíli najít maximální sílu potřebnou pro roztržení spoje o daných rozměrech. V případě použití maziva, by tato zmíněná síla byla nižší.

Tab. 5 Seznam vyrobených lemových spojů pro experimentální zkoušku

Seznam vyrobených lemových spojů pro experimentální zkoušku			
Použité lepidlo	Materiál části 1	Materiál části 2	Velikost lepené plochy [mm]
Betaguard RB 214 BV	HX 300 LAD +Z100 MCO  - tloušťka 0,68 mm	HX 300 LAD +Z100 MCO  - tloušťka 0,68 mm	- 21 - 23 - 25
Corabond V	HX 300 LAD +Z100 MCO  - tloušťka 0,68 mm	HX 300 LAD +Z100 MCO  - tloušťka 0,68 mm	- 21 - 23 - 25
SikaPower 492G	HX 300 LAD +Z100 MCO  - tloušťka 0,68 mm	HX 340 LAD +Z100 MBO  - tloušťka 1,2 mm	- 21
Betamate 1440	HX 300 LAD +Z100 MCO  - tloušťka 0,68 mm	HX 340 LAD +Z100 MBO  - tloušťka 1,2 mm	- 21

Experimentální měření probíhalo za laboratorních podmínek. Rychlost zatěžování byla zvolena 50 mm/min.



### 3.4.1 Použitá lepidla

Pro experimentální měření byla vybrána lepidla, jejichž vlastnosti byly blíže popsány v kapitole 2.1.4. Tato lepidla jsou v současnosti používány na karoseriích automobilů Škoda. Nejčastěji jsou na lepené lemové spoje používány epoxidová lepidla SikaPower 492 a Betamate 1440G, avšak některé lemové spoje jsou vyplněny i kaučukovými lepidly Betaguard RB 214 BV. Všechna tato použitá lepidla odpovídají základním požadavkům pro aplikaci v automobilovém průmyslu. Jejich velkým kladem je jejich schopnost vytvořit adhezní spoj s neodmaštěným povrchem plechu.

#### 3.4.1.1 SikaPower 492

SikaPower 492 je konstrukční jednosložkové lepidlo vyráběné firmou SIKA, založené na bázi epoxidového hybridu. Polyuretan je modifikován epoxidovou pryskyřicí. Hodnoty vlastností lepidla jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Vlastnosti použitého epoxidového lepidla SikaPower 492 [Příloha 3]

Vlastnosti	
Hustota	1300 kg/m <sup>3</sup>
Viskozita (50°C, 5Hz, P/P 25 mm, 1 mm gap CQP584-1)	cca. 1000 Pa.s
Barva	černá
Doba a čas vytvrzování	20 min / 175 °C
Pevnost ve smyku (EN 1465)	30 MPa

#### 3.4.1.2 Betamate 1440G

Betamate 1440G od firmy Dow Automotive je konstrukční jednosložkové lepidlo na epoxidové bázi, jehož objem je naplněn skleněnými kuličkami (označení G) pro dosažení minimální tloušťky lepidla. Hodnoty vlastností lepidla jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Vlastnosti použitého epoxidového lepidla Betamate 1440G [Příloha 4]

Vlastnosti	
Hustota	1240 kg/m <sup>3</sup>
Viskozita (50°C, 5Hz, P/P 25 mm, 1 mm gap CQP584-1)	cca. 46 Pa.s
Barva	zeleno-modrá
Doba a čas vytvrzování	30 min / 180 °C
Pevnost ve smyku (EN 1465)	29,6 MPa



### 3.4.1.3 Betaguard RB214BV

Betaguard RB214BV od firmy Dow Automotive je lepidlo na bázi syntetického kaučuku. Základní údaje o lepidle se nacházejí v tabulce 8.

Tab. 8 Vlastnosti použitého kaučukového lepidla Betaguard RB214BV [Příloha 5]

Vlastnosti	
Hustota	1500 kg/m <sup>3</sup>
Barva	šedočerná
Doba a čas vytvrzování	min. 25 min / 155 °C max. 30 min / 220 °C
Pevnost ve smyku (EN 1465)	3 – 5 MPa

### 3.4.1.4 Corabond V

Je konstrukční lepidlo od firmy PPG Industries na bázi syntetického kaučuku. Vlastnosti Corabond V jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab. 9 Vlastnosti použitého kaučukového lepidla Corabond V [Příloha 6]

Vlastnosti	
Hustota	1550 kg/m <sup>3</sup>
Viskozita	cca. 250 Pa.s
Barva	šedočerná
Doba a čas vytvrzování	30 min / 160 – 200 °C
Pevnost ve smyku (EN 1465)	12 MPa

## 3.4.2 Adherendy použité na vzorky

Pro výrobu lemových spojů byly zvoleny ocelové plechy s označením HX 300 LAD + Z100 MCO, HX 340 LAD + Z100 MBO, které se využívají pro výrobu dílů karoserie. Vlastnosti jednotlivých adherendů jsou popsány níže pro každý plech zvlášť.

### 3.4.2.1 HX 300 LAD + Z100 MCO

Je ocelový žárově pozinkovaný (100 g/m<sup>2</sup> Zn) plech s maximálním množstvím 0,12% C, obsahující další prvky jako Si, Mn, P, S, Al, Nb a Ti. Více informací je uvedeno v tabulce 10. Tento plech je určený k tváření za studena, jehož mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 11. Pro výrobu laboratorních vzorků byl použit plech o tloušťce 0,68 mm.

Tab. 10 Chemické složení použitého adherendu HX 300 LAD + Z100 MCO [24]

Chemické složení [%]							
C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Al <sub>celk.</sub>	Nb max.	Ti max.
0,12	0,50	1,40	0,030	0,025	≥ 0,015	0,09	0,15

Tab. 11 Mechanické vlastnosti použitého adherendu HX 300 LAD + Z100 MCO [24]

Mechanické vlastnosti		
Mez kluzu R <sub>p0,2</sub> [MPa]	Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	Tažnost A <sub>80</sub> [%]
300 - 380	380 - 480	min. 23

### 3.4.2.2 HX 340 LAD + Z100 MBO

Je ocelový plech, žárově pozinkovaný (100 g/m<sup>2</sup> Zn), jehož chemické složení (viz tabulka 12) je velice podobné druhému použitému plechu 300 LAD + Z100 MCO, avšak v porovnání s výše zmíněným plechem vyniká vyšší mezí kluzu a pevností za současného úbytku tažnosti. Mechanické vlastnosti jsou znázorněny v tabulce 13. Plech tohoto druhu dodaný pro výrobu laboratorních vzorků měl tloušťku 1,2 mm.

Tab. 12 Chemické složení použitého adherendu HX 340 LAD + Z100 MBO

Chemické složení [%]							
C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Al <sub>celk.</sub>	Nb max.	Ti max.
0,12	0,50	1,40	0,030	0,025	≥ 0,015	0,10	0,15

Tab. 13 Mechanické vlastnosti použitého adherendu HX 340 LAD + Z100 MBO

Mechanické vlastnosti		
Mez kluzu R <sub>p0,2</sub> [MPa]	Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	Tažnost A <sub>80</sub> [%]
340 - 420	410 - 510	min. 21

## 3.5 Zkouška vzorků

### 3.5.1 Lemová zkouška

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.2 zabývající se návrhem přípravku a jeho použitím, samotná lemová zkouška proběhla na zkušebním zařízení TIRAtest 2300. Rychlost zatěžování spoje byla 50 mm/min. Výsledkem experimentu jsou hodnoty zatěžujících sil jednotlivých vzorků. Pro každou kombinaci adherendu, adheziva a délky lepené plochy je vypracován protokol s naměřenými čtyřmi hodnotami pevnosti spoje. Protokol je doplněn o průměrnou hodnotu se směrodatnou odchylkou a jeden průběh zatěžující síly, kde pro každý soubor čtyř vzorků je vybrán pouze jeden z průběhů.

Z hlediska kvalitativního ukazatele byla určena průměrná hodnota pevnosti spoje  $F_{Si}$  testovaného lemovou zkouškou z  $n$  měřených vzorků, která se spočítá podle vztahu (3.1).

$$\bar{F}_S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{Si} \quad (3.1)$$

kde:

$\bar{F}_S$	průměrná hodnota maximálních zatěžujících sil	[N]
$F_{Si}$	hodnota maximální zatěžující síly jednotlivých vzorků	[N]
$n$	počet vzorků	[-]

Z hlediska statistického obsahují protokoly také směrodatné odchylky pro vypočítané průměrné hodnoty, které se spočítají podle vztahu (3.2). Směrodatná odchylka udává informaci o rozdílu naměřených hodnot od vypočítané průměrné hodnoty.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{Si} - \bar{F}_S)^2}{n - 1}} \quad (3.2)$$

kde:

$s$	směrodatná odchylka	[N]
$\bar{F}_S$	průměrná hodnota maximálních zatěžujících sil	[N]
$F_{Si}$	hodnota maximální zatěžující síly jednotlivých vzorků	[N]
$n$	počet vzorků	[-]

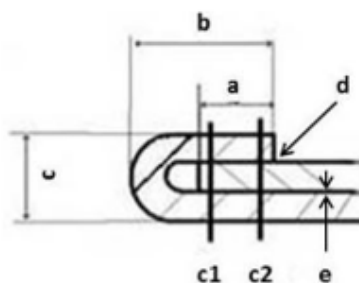
### 3.5.2 Metalografická zkouška

Pro zjištění geometrie laboratorně vyrobených lemových spojů bylo experimentální měření doplněno o metalografickou zkoušku. Naměřené hodnoty sériově vyráběných lemových spojů jsou porovnávány s hodnotami danými výkresem pro každý díl karoserie. To znamená, že každý výřez lemového spoje vypreparovaný z různých míst karoserie může být definován jinými hodnotami geometrie. Proto nelze určit univerzální hodnotu.

Cílem bylo dosáhnout tzv. ideálního lepeného spoje, který je charakterizován těmito požadavky:

- rovnoběžná poloha lepených plechů,
- tloušťka filmu naneseného lepidla 0,1 – 0,2 mm,
- bez vad v podobě adhezního lomu.

Z výše vypsaných podmínek ideálního spoje s předpokládanou maximální pevností, byly vzorky porovnávány mezi sebou, pomocí hodnot znázorněných na obrázku 38. Dále také z důvodu opakovatelné schopnosti vyrobit lemový spoj a v neposlední řadě bylo u vzorků sledováno, zda se hodnoty tloušťky filmu naneseného lepidla pohybují v požadovaném rozsahu 0,1 – 0,2 mm. Pro použité zvětšení optického mikroskopu 5x je definována hodnota nejistoty měření 0,16 mm.



<b>a</b>	[mm]	délka lepené plochy přehybu části 1 a částí 2
<b>b</b>	[mm]	délka přehybu části 1
<b>c</b>	[mm]	tloušťka lemového spoje
<b>c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub></b>	[mm]	rozměr udávající rovnoběžnost "uzavřených" ploch části 1
<b>d</b>	[mm]	tloušťka lepidla mezi přehybem části 1 a částí 2
<b>e</b>	[mm]	tloušťka lepidla mezi delší plochou části 1 a částí 2

Obr. 38 Normou daná místa kontroly lemového spoje [2]

## 4 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V tabulkách 14 až 17 jsou na základě vyhodnocení lemové zkoušky zaznamenány získané pevnostní hodnoty testovaných souborů vzorků. Každá tabulka obsahuje soubor průměrných hodnot jednoho ze čtyř testovaných lepidel na daném lepeném adherendu s určitou délkou lepených ploch. Hodnoty z jednotlivých měření a vybraný průběh zatěžující síly na dráze příčnicku jsou obsahem protokolu, který je uveden v příloze pro dané lepidlo.

Tab. 14 Výsledky jednotlivých souborů vzorků pro SikaPower 492 (více v příloze 7)

<b>SikaPower 492</b>		
Délka lepené plochy [mm]	$\bar{F}_S$ [N]	s [N]
21	10022,6	933,1
23	netestováno	netestováno
25	netestováno	netestováno

Tab. 15 Výsledky jednotlivých souborů vzorků pro Betamate 1440G (více v příloze 8)

<b>Betamate 1440G</b>		
Délka lepené plochy [mm]	$\bar{F}_S$ [N]	s [N]
21	9712,0	1840,3
23	netestováno	netestováno
25	netestováno	netestováno

Tab. 16 Výsledky jednotlivých souborů vzorků pro Betaguard RB214BV (více v příloze 9, 10, 11)

<b>Betaguard RB214BV</b>		
Délka lepené plochy [mm]	$\bar{F}_S$ [N]	s [N]
21	3750,0	75,5
23	3407,8	839,8
25	4869,7	125,2

Tab. 17 Výsledky jednotlivých souborů vzorků pro Corabond V (více v příloze 12, 13, 14)

<b>Corabond V</b>		
Délka lepené plochy [mm]	$\bar{F}_S$ [N]	s [N]
21	3762,9	306,2
23	3493,7	717,1
25	4066,6	303,0

V tabulce 18 jsou porovnány naměřené hodnoty získané z metalografického výbrusu jednotlivých vzorků. Tyto hodnoty, udávající popsání rozměry znázorněné v obrázku 38.

Tab. 18 Naměřené hodnoty z metalografických výbrusů jednotlivých souborů vzorků

Metalografická zkouška						
Lemový spoj	a [mm]	b [mm]	c <sub>1</sub> [mm]	c <sub>2</sub> [mm]	d [mm]	e [mm]
SikaPower 492 21 mm	6,72	7,99	2,70	2,76	0,11	0,11
Betamate 1440G 21 mm	7,10	8,66	2,72	2,76	0,07	0,11
Betaguard RB214BV 21 mm	7,03	7,99	2,48	2,33	0,07	0,07
Betaguard RB214BV 23 mm	6,85	7,99	2,49	2,29	0,09	0,08
Betaguard RB214BV 25 mm	7,10	8,08	2,25	2,27	0,08	0,08
Corabond V 21 mm	6,99	8,02	2,31	2,24	0,04	0,08
Corabond V 23 mm	6,89	8,03	2,36	2,23	0	0,07
Corabond V 25 mm	7,01	8,11	2,17	2,19	0	0,09

Výsledky z experimentálních měření a jejich vyhodnocení byly pro větší názornost zaznamenány do přehlednější grafické podoby (viz obrázky 40, 42). Dílčím výsledkům je věnována větší pozornost v jednotlivých kapitolách 4.1 a 4.2.

## 4.1 Diskuze dílčích výsledků z hlediska pevnosti spojů

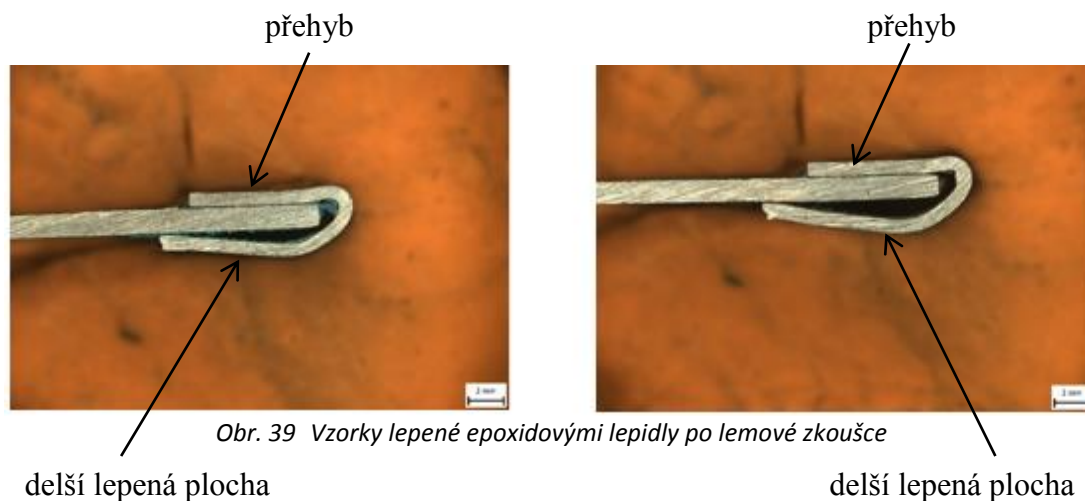
V případě přímého porovnání všech lepidel, jak kaučukových tak epoxidových, by byly výsledky velice rozdílné vzhledem k mechanickým hodnotám jednotlivých lepidel. Proto budou nejprve vzájemně porovnány epoxidová lepidla a poté kaučuková lepidla. Konkrétní oblasti lemového spoje (*a*, *b*, *c*, *d*) na kterých bude vysvětleno chování jednotlivých lepidel během samotné zkoušky, byly popsány v kapitole 2.3.2.2 a jsou znázorněny na obrázku 21.

### Epoxidová lepidla

U vzorků lepených lepidlem Betamate 1440G z ověřovací série je již prokázáno, že pro přetržení použitého ocelového plechu části 2 je potřeba menší zatěžující síla, než pro odtržení lemového spoje. Proto lze předpokládat, že druhé epoxidové lepidlo SikaPower 492, jehož mechanické vlastnosti jsou podobné s Betamate 1440G by dopadlo při lemové zkoušce podobně. Z tohoto důvodu byla

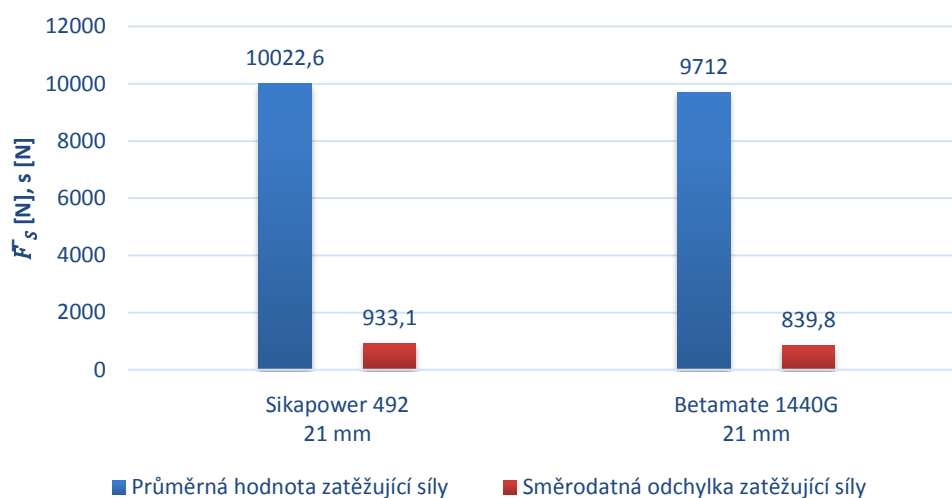
část 2 dimenzována tak, aby při zkoušce došlo k porušení lemu a nikoliv k přetržení plechu.

Obrázek 39 znázorňuje, jak vypadají vzorky s oběma lepidly při zkoumání optickým mikroskopem. Průběh lemové zkoušky těchto vzorků probíhal jinak, než bylo předpokládáno. Zatěžující síla nejprve deformovala oblast *a* a *c* lemového spoje. Ovšem po porušení lepené plochy v oblasti *a* a *c*, nebyl plech části 1 schopný přenést sílu i na oblast *b*. Z tohoto důvodu se již s dalším posuvem příčnicku deformovala pouze část 1 a k porušení spoje v oblasti *b* nedošlo. Vzhledem ke skutečnosti, že vzorky s epoxidovými lepidly nebyly zcela porušeny, není lepená plocha v této práci znázorněna. Proto lze předpokládat, že změřená zatěžující síla jednotlivých vzorků odpovídá pouze porušení lepeného spoje v oblastech *a* a *c*.



V případě zanedbání deformace plechu a neporušení lepeného spoje v oblasti *b*, lze z průměrných hodnot zatěžujících sil (viz obrázek 40) konstatovat, že lemové spoje lepené oběma lepidly mají podobné pevnosti. Rozdíl hodnot průměrných zatěžujících sil je pouhých 310 N tedy 3 %.

## Porovnání použitých epoxidových lepidel



Obr. 40 Porovnání dosažených průměrných hodnot zatěžujících sil u vzorků s epoxidovými lepidly SikaPower 492 a Betamate 1440G

## Kaučuková lepidla

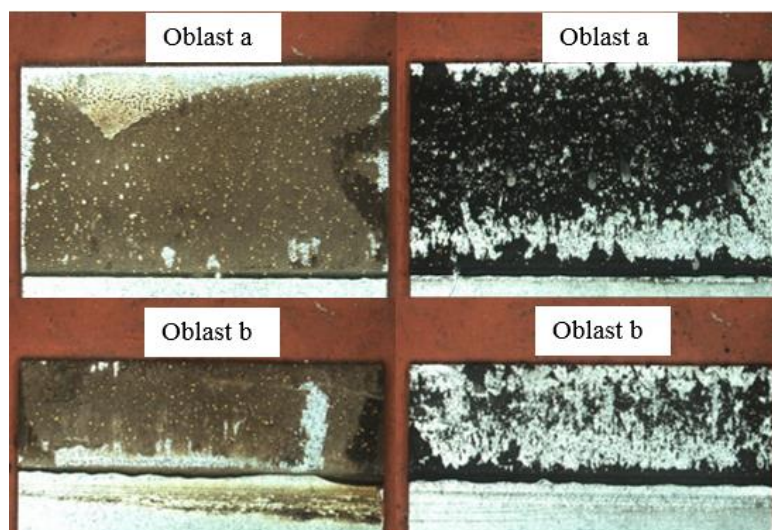
Z obrázku 41 je zřejmé, že u kaučukových lepidel probíhala lemová zkouška podle předpokladů. Všechny lepené oblasti se porušily a plech části 1 není znatelně deformován. Proto lze hodnoty zatěžujících sil považovat za platné.



Obr. 41 Vzorek lepený kaučukovým lepidlem Betaguard RB214BV po lemové zkoušce

Z obrázku 42, kde jsou znázorněny lepené plochy oblastí *a* a *b* jednotlivých kaučukových lepidel Betaguard RB214BV a Corabond V lze říci, že lepené plochy nejeví žádné adhezní porušení, které je u karosářských výlisků nepřípustné. U žádných vzorků s těmito kaučukovými lepidly nebylo zjištěno adhezní porušení vzhledem ke skutečnosti, že vzorky byly odmaštěny a nebylo na ně aplikováno žádné mazivo, avšak u jakéhokoliv cíleně vneseného nežádoucího vlivu do výroby vzorků je nutné zkoumat druh porušení lepených ploch.

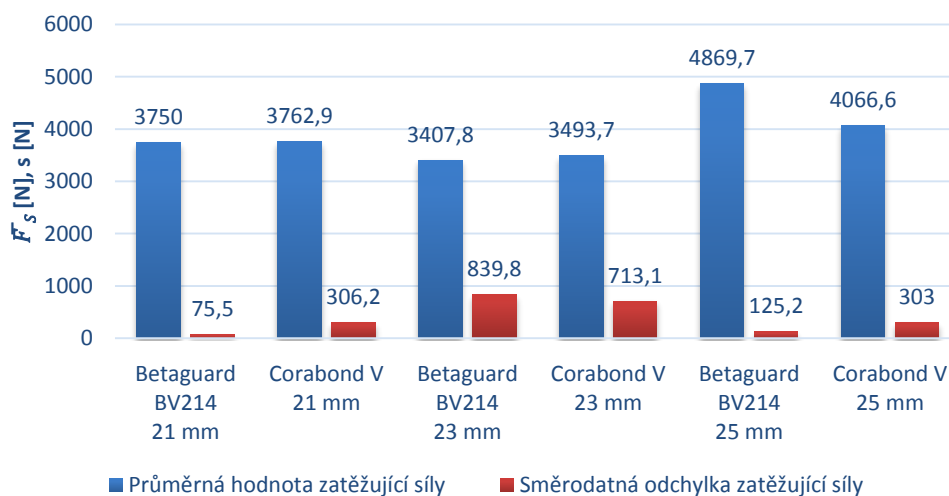




obr. 42 Ukázka porušených lepených ploch kaučukových lepidel u vzorků části 2 s délkou lepené plochy 23 mm  
Obr. vlevo: lepidlo Corabond V  
Obr. vpravo: lepidlo Betaguard RB214BV

Z výsledků vyhodnocení lemových spojů s délkou lepené plochy 21 mm (viz obrázek 43) vyplývá, že jejich průměrné zatěžující síly s rozdílem necelých 13 N (0,3 %) jsou téměř stejné. U delších lepených ploch, tedy 23 mm je zaznamenán pokles průměrné zatěžující síly oproti předchozí menší lepené ploše. Průměrné hodnoty zatěžujících sil u obou lepidel, jsou podobné s nepatrným rozdílem 86 N (2,5 %). Poslední lemový spoj s délkou lepené plochy 25 mm, byl značně pevnější u vzorků lepených adhezivem Betaguard RB214BV. Rozdíl obou průměrných hodnot je 803 N (16,5 %).

### Porovnání použitých kaučukových lepidel



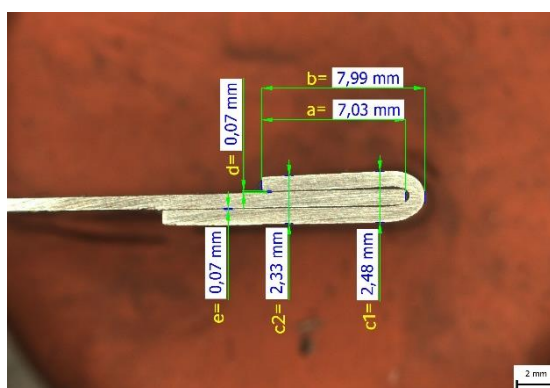
Obr. 43 Porovnání dosažených průměrných hodnot zatěžujících sil u vzorků s kaučukovými lepidly Betaguard RB214BV a Corabond V

## 4.2 Diskuze dílčích výsledků z hlediska opakovatelnosti výroby spojů

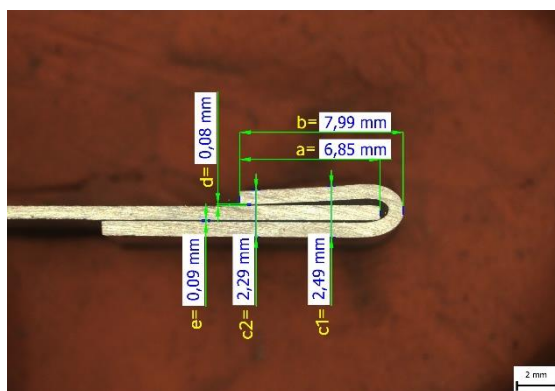
Z pohledu geometrie laboratorně vyrobených lemových spojů, jsou na obrázcích 44 až 51 znázorněny metalografické výbrusy jednotlivých vzorků, z nichž je možné v určitém měřítku rozhodnout o schopnosti opakovatelnosti výroby spojů a popřípadě navrhnout vhodná opatření vedoucí ke zdokonalení metodiky výroby a přiblížení se ideálnímu lemovému spoji.

Pro rozhodnutí, zda vyrobené lemové spoje splňují základní požadavky tzv. ideálního spoje, je nutné sledovat hodnoty rozměrů  $c_1$  a  $c_2$ , které vypovídají o vzájemné rovnoběžné poloze a hodnoty  $d$ ,  $e$  značící tloušťku filmu lepidla.

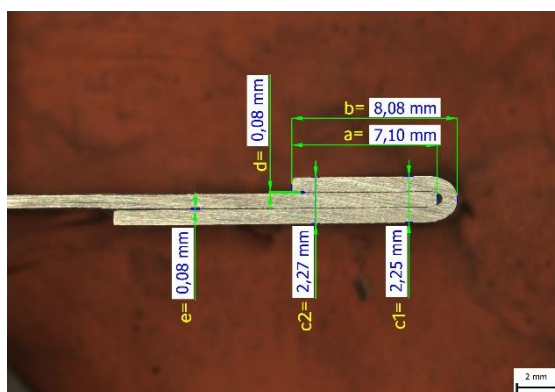
Nejprve bude zaměřena pozornost na lemové spoje lepené adhezivem Betaguard RB214BV. Všechny tři vyrobené spoje s tímto lepidlem mají tloušťku adheziva lehce pod tzv. ideální hranicí 0,1 mm, avšak všechny hodnoty  $d$  a  $e$  jsou podobné s hodnotou kolem 0,08 mm. Pro dosažení rozmezí 0,1 – 0,2 mm tloušťky lepidla by bylo vhodné pro další měření osadit lemový spoj čtyřmi distančními drátky nebo kuličkami v oblasti  $a$  a  $b$ . Touto úpravou by mělo být dosaženo tloušťky lepidla v požadovaném rozmezí. Rovnoběžnost plechů je nejlepší u vzorku (viz obrázek 46) s délkou lepené plochy 25 mm, kde jsou hodnoty  $c_1 = 2,25$  mm a  $c_2 = 2,27$  mm. S nejhorším výsledkem dopadl vzorek (viz obrázek 45) s 23 mm dlouhou lepenou plochou, který vykazuje rozdíl rozměrů  $c$  0,2 mm. Vzorek na obrázku 44 má rozdíl zmíněných rozměrů 0,15 mm. Možností, jak docílit větší rovnoběžnosti měřených ploch je použití většího lisovacího tlaku.



Obr. 44 Metalografický výbrus vzorku lepený Betaguard RB214BV s délkou lepené plochy 21 mm

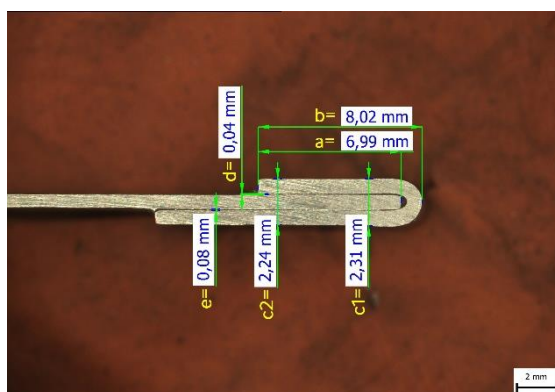


Obr. 45 Metalografický výbrus vzorku lepený Betaguard RB214BV s délkou lepené plochy 23 mm

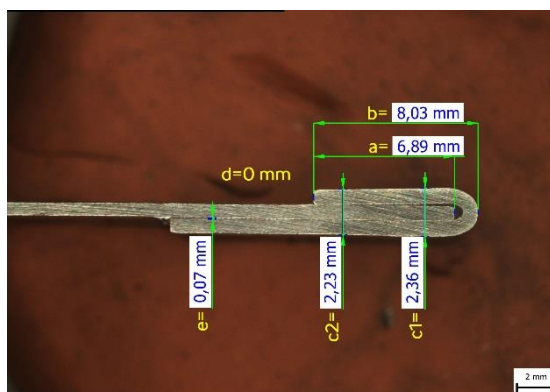


Obr. 46 Metalografický výbrus vzorku lepený Betaguard RB214BV s délkou lepené plochy 25 mm

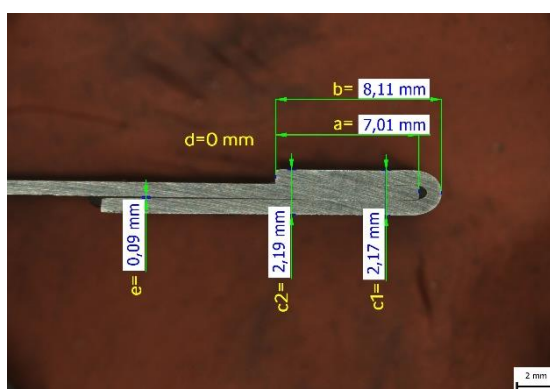
Dalším zástupcem kaučukových lepidel byl Corabond V, který jako jediný ze všech hodnocených vzorků má ve dvou případech nulovou hodnotu  $d$ . Rozměr  $e$  se pohybuje u všech vzorků kolem hodnoty 0,08 mm, podobně jako u předchozího lepidla. U tohoto lepidla by pro další měření měly být vloženy distanční drátky nebo kuličky. Z pohledu rovnoběžnosti plechů, dopadly vzorky oproti předchozím lépe. U vzorku na obrázku 47 je rozdíl rozměrů  $c$  0,07 mm, u vzorku na obrázku 48 je tato hodnota horší, přesněji 0,13 mm a nejlépe dopadla na u vzorku znázorněného na obrázku 49, kde je 0,02 mm.



Obr. 47 Metalografický výbrus vzorku lepený Corabond V s délkou lepené plochy 21 mm

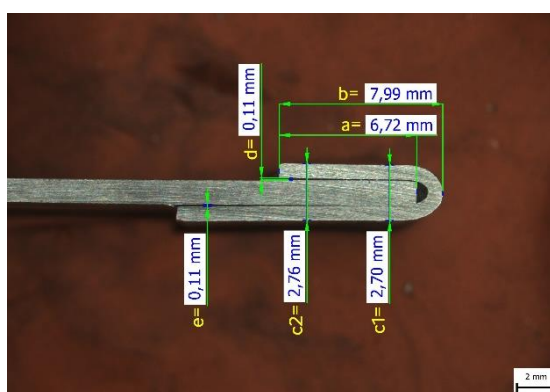


Obr. 48 Metalografický výbrus vzorku lepený Corabond V s délkou lepené plochy 23 mm



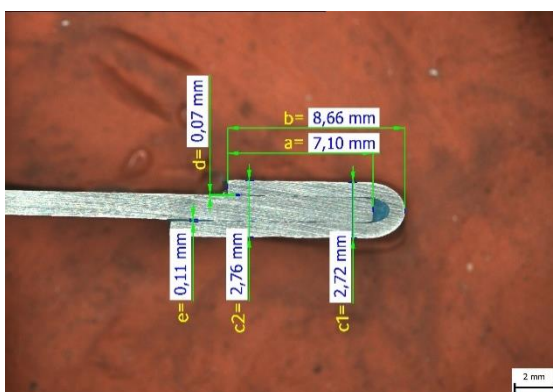
Obr. 49 Metalografický výbrus vzorku lepený Corabond V s délkou lepené plochy 25 mm

Prvním ze zástupců epoxidových lepidel je SikaPower 492. S tímto lepidlem byl vyroben pouze jeden soubor vzorků s délkou lepené plochy 21 mm (viz obrázek 50). Z pohledu tloušťky lepidla tento vzorek splňuje tzv. ideální rozmezí. Nicméně je důležité si povšimnout skutečnosti, že tloušťka lepidla v oblasti  $a$  se od měřené hodnoty  $e$  postupně ztenčuje, proto by i u tohoto lepidla pro další měření bylo vhodné použít distanční opatření. Obě hodnoty  $d$  i  $e$  jsou 0,11 mm, tedy v ideálním rozmezí 0,1 – 0,2 mm. Rozměry  $c_1$  a  $c_2$  jsou oproti předchozím lemovým spojmům větší z důvodu větší tloušťky části 2. Jejich rozdíl je 0,06 mm.



Obr. 50 Metalografický výbrus vzorku lepený SikaPower 492 s délkou lepené plochy 21 mm

Posledním hodnoceným vzorkem je lemový spoj s lepidlem Betamate 1440G (viz obrázek 51) o stejných rozměrech jako v předchozím případě. I zde se nachází rozměr  $e$  v tzv. ideálním rozsahu 0,1 - 0,2 mm, avšak stejně jako u vzorku s SikaPower 492 je zde postupné ztenčení tloušťky lepidla, proto je nutné pro další vyrobené vzorky použít distančních drátků nebo kuliček. Hodnota  $d$  je 0,07 mm. Ukázkové jsou hodnoty  $c_1$  a  $c_2$ , jejichž rozdíl je pouze 0,04 mm.



Obr. 51 Metalografický výbrus vzorku lepený Betamate 1440G s délkou lepené plochy 21 mm

## 5 ZÁVĚR

Z pohledu tvaru sériově vyráběných lemových spojů nebyl v posledních dvaceti letech zaznamenán výrazný pokrok, avšak znatelného progresu dosáhly materiály a lepidla používaná pro výrobu lemových spojů. Přední výrobci plechů lepidel dodávají na trh nové produkty s cílem zlepšovat jejich vlastnosti, z důvodu stále se zvyšujících požadavků na bezpečnost, ekologii a spotřebu automobilu. Proto je nutné zkoumat chování a vlastnosti lemových spojů a počítat s nimi jako s důležitou strojní součástí každého automobilu. Cílem diplomové práce je vytvořit a zároveň ověřit metodiku umožňující hodnotit lepené lemové spoje vyrobené v laboratorních podmínkách, které v určitých mezích odpovídají skutečným lepeným lemovým spojům používaných na karoseriích automobilů.

V automobilovém průmyslu spojují lemové spoje plechy, které jsou ve většině případů žárově pozinkované, a na takovéto plechy je často nanášeno mazivo pro zajištění co nejlepších podmínek pro operaci tažení. Po těchto procesech následuje operace lepení, která probíhá ve svařovně. Dochází k nanášení svařovenských lepidel a následné operaci lemování. V požadovaných místech vzniká lemový spoj, od kterého je požadováno, aby měl dostatečnou pevnost, byl vodotěsný a tlumil vibrace. Cílem práce je tedy vyrobit lemový spoj o maximální jakosti, který stanoví maximální hodnoty zatěžujících sil pro vzorky o šířce 25 mm. Pro posouzení jakosti lemového spoje slouží lemová zkouška, kterou je možné provést pouze za pomoci navrhnutého a vyrobeného přípravku. Další možností hodnocení je metalografická zkouška probíhající podle koncernové normy. Výsledkem lemové zkoušky jsou naměřené hodnoty velikosti maximální zatěžující síly, zatímco metalografická zkouška hodnotí geometrii tvaru lemového spoje z příčného výbrusu. K ověření byla vybrána tato čtyři lepidla SikaPower 492, Betamate 1440G, Betaguard RB 214 – BV, Corabond V, které jsou nejčastěji využívány v sériové výrobě právě pro lepení lemových spojů a jako adherend posloužil HX 300 LAD + Z100 MCO o tloušťce 0,68 mm, HX 340 LAD + MBO s tloušťkou 1,2 používané v automobilovém průmyslu pro stavbu karoserií.

Z prezentovaných výsledků získaných z metalografické zkoušky vyplývá, že navržená metodika výroby lemových spojů je schopná dodržet určitou opakovatelnost výroby, při které vznikají vzorky, jejichž naměřené rozměry jsou znázorněny v tabulce 18. Nedostatkem v geometrii lemového spoje je tloušťka

lepidla, kde u lepidla Corabond V byla u vzorků s délkou lepené plochy 21 a 23 mm zjištěna nulová tloušťka lepidla. U epoxidových lepidel dosahovala tloušťka adheziva v měřeném místě  $e = 0,11$  mm, tedy změřená hodnota se nachází v tzv. ideálním rozsahu tloušťky lepidla pro lepený spoj. Ale lze předpokládat, že v místě přehybu nebylo dosaženo alespoň 0,1 mm tloušťky adheziva.

Proto doporučením pro další výrobu laboratorních lemových spojů je úprava metodiky, tak aby bylo dosahováno u každého vzorku stabilně rozmezí tloušťky lepidla 0,1 - 0,2 mm. Jak již bylo řečeno v kapitole 4.2, nejjednodušším řešením je vložení distančních drátků nebo kuliček do lepených ploch. Touto úpravou by hodnota lisovacího tlaku neměla zásadní vliv na tloušťku filmu lepidla. Jelikož nelze určit univerzální lisovací tlak vzhledem ke skutečnosti, že se zvětšující se šířkou lemovaného spoje roste i lisovací tlak. Další možností jak zajistit požadovanou tloušťku lepidla je umístění distančních plíšků o požadovaných rozměrech vedle lemovaných částí při samotné operaci lemování, o které by se ocelový profil sloužící pro celistvé lemování zastavil. V případě požadavku na častější využívání metodiky, např. ověřování nových kombinací materiálů a lepidel pro automobilové společnosti, je upřednostňován návrh přípravku, který usnadní samotné lemování a docílí menších nepřesností geometrie tvaru. Takový přípravek by měl být osazen nastavitelnými distančními dorazy a umožňovat vzájemnou fixaci části 1 a 2 před a během lemování. Další možností jak se více přiblížit reálným lemovým spojům, je simulování nanášení menšího množství lepidla. Tedy je doporučeno další metodiku výroby spojů obohatit o schopnost naplnit lemový spoj požadovaným množstvím lepidla.

Shrnutí výroby lemových spojů je, že lze vyrábět lepené lemové spoje, které v určitých měřítkách odpovídají sériově vyráběným spojům. Součástí metodiky je univerzálnost, která nabízí tyto možnosti: použití lepidla o různých pevnostech, vlastnostech apod., aplikování na různé druhy materiálů (Ocel, Al) o rozdílných tloušťkách opatřené většinou používaných povlaků, nanášení mnoha druhů maziv a s možným příslibem do budoucnosti i záměrné ovlivnění geometrie lemového spoje.

Výsledky lemové zkoušky kaučkových lepidel dokazují, že tato zkouška je vhodná pro testování zmíněných lepidel. Z naměřených hodnot znázorněných na obrázku 43 vyplývá, že testovaná lepidla mají podobné hodnoty zatěžujících sil. U obou lepidel aplikovaných na vzorcích s délkou lepené plochy 23 mm je možné



sledovat nižší průměrnou maximální hodnotu zatěžujících sil oproti menší lepené délce 21 mm. Nelze se odkazovat na nulovou hodnotu tloušťky lepidla Corabond V, protože vzorek s lepidlem Betaguard RB14BV má poměrně přijatelné hodnoty  $d$  a  $e$  kolem 0,08 mm, tedy má o 0,08 mm lepidla více než Corabond V a přesto mají oba vzorky nižší hodnoty síly než vzorky s menší lepenou plochou. Tento pokles je pravděpodobně způsoben danou geometrií lemu a postupným porušováním vzorků lemů o této velikosti. Pro přesnější posouzení by bylo nutné testovat více vzorků. V případě vzorků lepených epoxidovým lepidlem SikaPower 492 a Betamate 1440G bylo dosaženo výsledků, jejichž naměřené hodnoty nelze určit jako platné. Nejprve při ověřovacím experimentu s adherendem HX 300 LAD + Z100 MCO o tloušťce 0,68 mm použitým na obě části lemového spoje a následně naneseným adhezivem Betamate 1440G, byla zatěžující síla větší, než kterou mohl plech části 2 přenést. Z pohledu sériově vyráběných lemových spojů by takovýto výsledek bylo možné posuzovat jako vyhovující se závěrem, že jakostní lepený lemový spoj snese větší zatížení než samotný adherend. Avšak pro možnost naměření hodnot zatěžující síly a porušení spoje byl pro následné experimentální měření obou epoxidových lepidel u části 2 zvolen plech HX 340 LAD + Z100 MBO o tloušťce 1,2 mm. Ten snesl větší zatěžující síly, a tak bylo dosaženo destrukce lemového spoje, avšak pouze v lepené oblasti  $a$  a  $c$ . Část 1 zůstala tedy spojena s částí 2 pomocí lepené plochy v oblasti  $b$ . Což znamená, že materiál části 1 nebyl schopen přenést zatěžující sílu působící v trhací ploše do přehybu, aby nastala destrukce i v části  $b$ , místo toho se samotný deformoval. Z toho vyplývá, že při aplikaci běžně používaných plechů v kombinaci s epoxidovými lepidly nastává zásadní problém s pevností obou adherendů.

Doporučení pro možné řešení zmíněných obtíží spočívá v testování lemových spojů lepených epoxidovými lepidly jinou zkouškou nebo úpravou samotné metodiky lemové zkoušky. V prvním případě je nejvhodnějším zatěžováním zkouška na odlup, u kterého spoje vykazují nejmenší pevnost. Pro takový druh zatěžování by bylo vhodné upravit tvar lemového spoje, přesněji pouze části 1 tak, aby bylo možné upnout konce části 1 do čelistí zkušebního stroje. Nevýhodou takového druhu zatěžování je nerealizovatelnost pro sériově vyráběné lemové spoje. Druhou možností je úprava dorazu přípravku, kde by bylo vhodné upravit doraz tak, aby na opěrné ploše vzniklo osazení pro dotyk s koncem přehybu, tím by vznikla další trhací ploška. Přesněji, obě koncové plošky části 1 by sloužily k přenosu zatěžující síly. Také by nedocházelo k mírnému ohybu vzorku směrem od trhací



plošky, tak jak je tomu u současného řešení přípravku. Pokud by doraz u navrhovaného řešení, byl výškově nastavitelný odpadl by požadavek na značnou přesnost vyrobených vzorků. Na pevnost části 2 běžně používaných hlubokotažných plechů, lze reagovat buď aplikací adherendu s vyšší pevností nebo větší tloušťkou, nebo zmenšením velikosti lepené plochy. Avšak poslední návrh omezuje variabilitu metodiky lemové zkoušky. Lemová zkouška byla ověřována pouze na laboratorně vyrobených lemových spojích, avšak největším užitkem by bylo její uplatnění do běžných zkoušek testujících jakost karoserií. Bohužel velkou překážkou pro takovéto uplatnění lemové zkoušky jsou různě tvarované vnitřní výlisky karoserie a zmíněná pevnost těchto výlisků.

Souhrn skutečností kolem lemové zkoušky zní, že v současném provedení je tato zkouška vhodná pro hodnocení běžně používaných adherendů v kombinaci s kaučukovými lepidly. Pro testování epoxidových lepidel je nutné změnit způsob zatěžování ze smyku na odlup a upravit geometrii lemového spoje nebo udělat úpravy přípravku či zvolené kombinace adherendu a adheziva. Samotný přípravek je jednoduché konstrukce s rychlým upnutím na zkušební zařízení. Je univerzální pro různé tloušťky materiálů opatřené širokou škálou povlaků.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

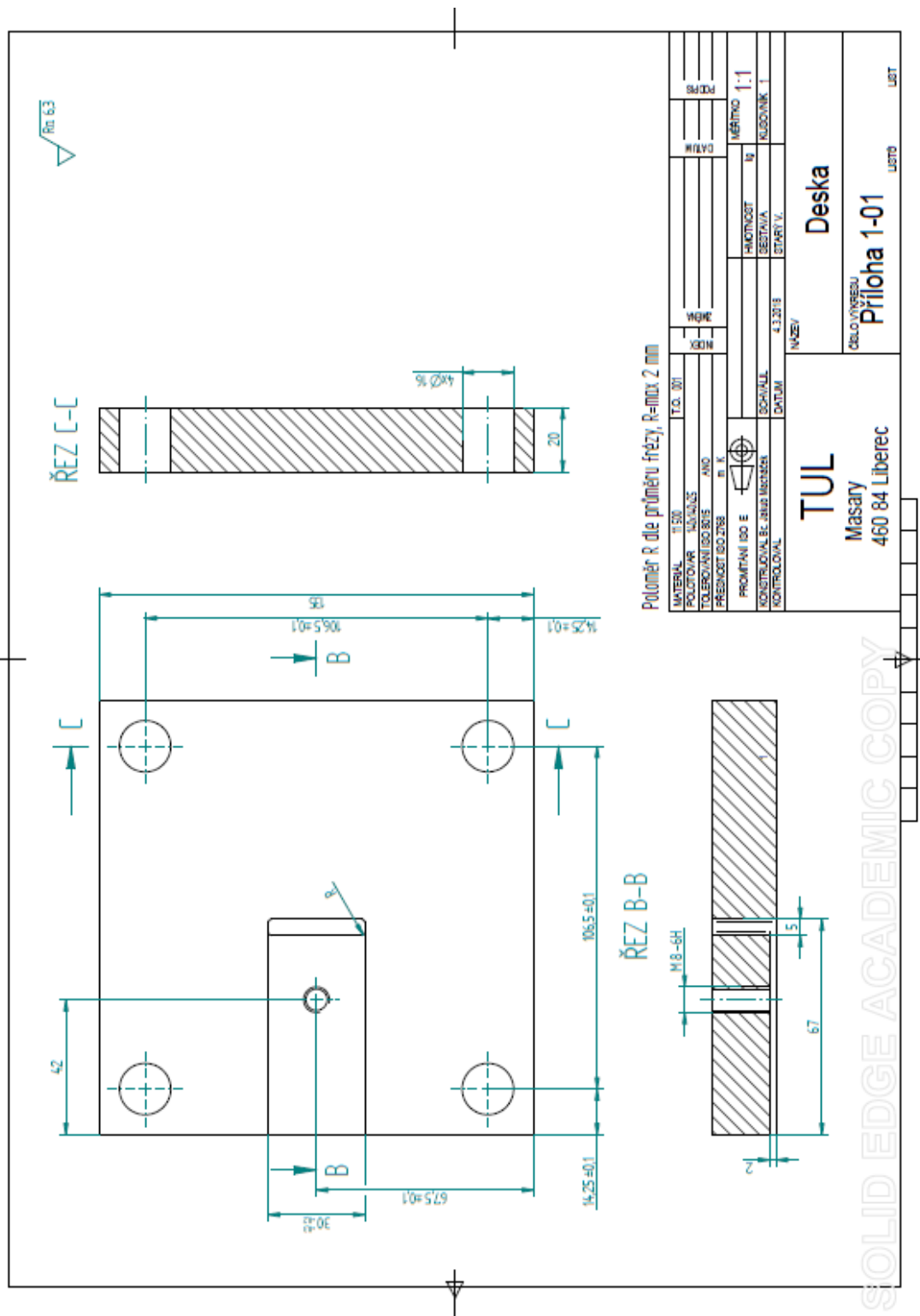
- [1] PILVOUSEK, T., ROLEČEK, L., ŠANOVEC, J. Lepení ve výrobě karoserie. *MM Průmyslové spektrum*, 2017, roč. 20, č. 7, 80s. ISSN 1212-2572.
- [2] Technický materiál od firmy Škoda Auto a.s.
- [3] DOUBEK, P. - KOLNEROVÁ, M. *Základy technologie lepení karosářských výlisků*. Technická univerzita v Liberci, Liberec 2014, 117 s. ISBN 978-80-7494-170-2
- [4] SEDLÁR, T. *Technológia 2*. 5. vydání. Bratislava: SVTL, 1965. 160s.
- [5] RAMEŠ, Z. *Hodnocení pevnosti lepeného lemového spoje*. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec 1995.
- [6] *Automotive hemming* [online], poslední aktualizace 9. 4. 2018, 19:56, Wikipedie. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Automotive\\_hemming](https://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_hemming). [cit. 21. 4. 2018]
- [7] HONDA. *New technology to join steel and aluminum with world's first application to the door panel of mass production vehicles* [online], Dostupné z: <https://phys.org/news/2013-02-technology-steel-aluminum-world-application.html>. [cit. 21. 4. 2018]
- [8] BROŽOVÁ, V. *Vliv nových typů povrchových úprav plechů na kvalitu lepených spojů při stavbě karoserie osobních automobilů*. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2012.
- [9] BROCKMANN, W., GEIß, P., KLINGEN, J., SCHRÖDER, B. *Adhesive Bonding: Materials, Applications and Technology*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. 414s. ISBN 978-3-527-31898-8.
- [10] SUK, Š. *Hodnocení lepených spojů používaných ve smíšené konstrukci*. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2015.
- [11] SMETANA, L. *Hodnocení vlivu vytvrzování na pevnost lepeného spoje*. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2007.
- [12] FFT Produktions-systeme GmbH & Co. KG. [online]. Dostupné z: <https://cfk-valley.com/en/members/f/fft-produktionssysteme-gmbh-co-kg/>. [cit. 26. 4. 2018]
- [13] ČSN EN ISO 11339. *Lepidla – T-zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

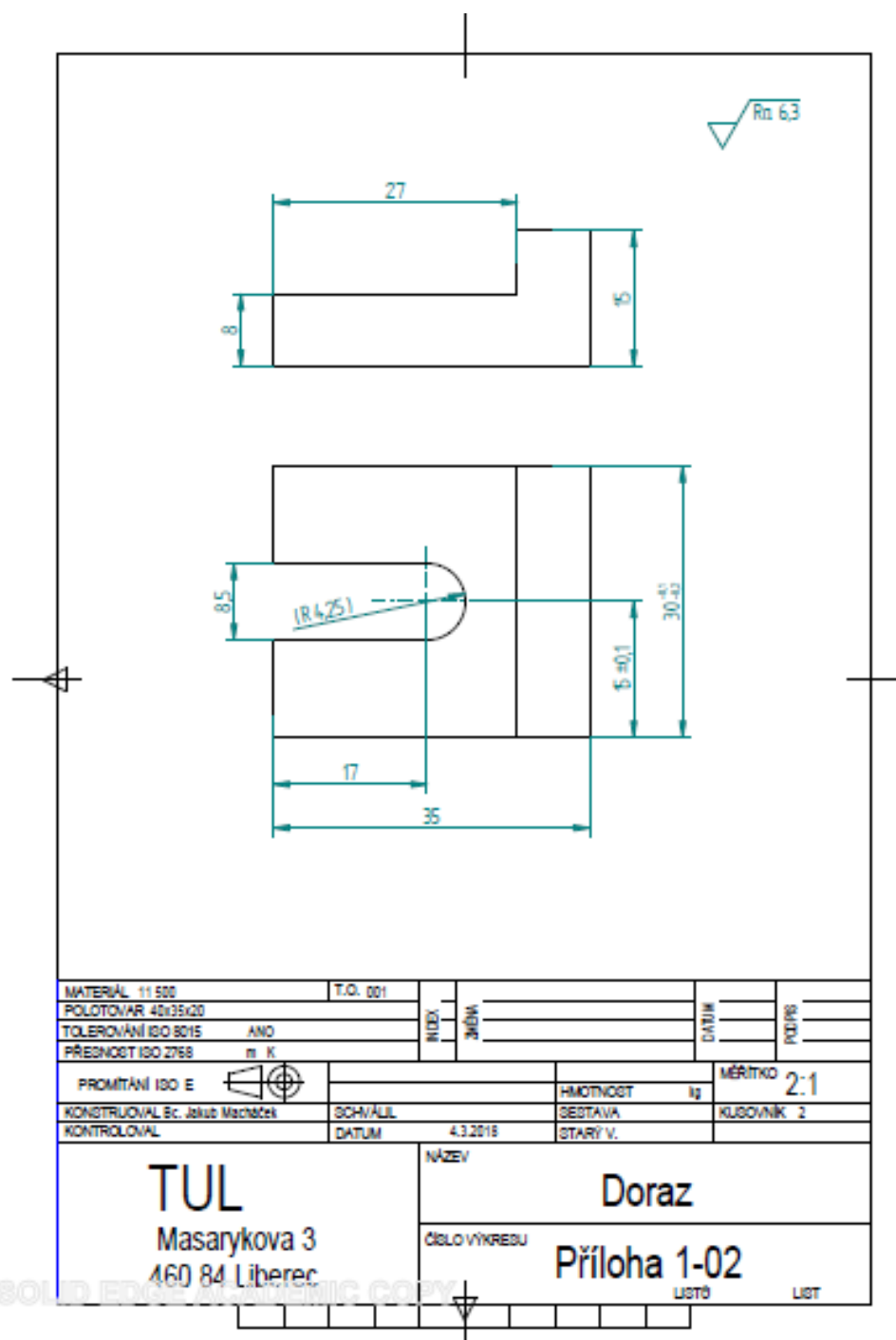
- [14] ČSN EN 1465. *Lepidla – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [15] ČSN EN ISO 11343. *Lepidla – Stanovení dynamické odolnosti vysoce pevných slepů vůči štípání rázem – Metoda štípání rázem pomocí klínu*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [16] ČSN ISO 10365. *Lepidla – Označení hlavních typů porušení lepeného spoje*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [17] BAŠUS, M. *Pevnost lepených spojů bórem legovaných ocelí s povlakem AlSi*. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2014.
- [18] FOREJTOVÁ, L., KOLAŘÍK, L., SUCHÁNEK, J., KOLAŘÍKOVÁ, M., PILVOUSEK, T. Svařitelnost ocelí pro automobilové karoserie. *MM Průmyslové spektrum*, 2017, roč. 20, č. 3, s. 90. ISSN 1212-2572.
- [19] HEJDUK, J. *Svařitelnost vysokopevnostních plechů v konstrukci osobního automobilu*. Bakalářská práce, ČVUT v Praze, Praha 2015.
- [20] ČSN 73 3610. *Navrhování klempířských konstrukcí*. Český normalizační institut, 2007.
- [21] JIMBERT, P., INAKI, E., INAKI, P., DAEHN, G. *Straight Hemming of Aluminum Sheet Panels Using the Electromagnetic Forming Technology: First Approach*. [online], Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/250325267\\_Straight\\_Hemming\\_of\\_Aluminum\\_Sheet\\_Panels\\_Using\\_the\\_Electromagnetic\\_Forming\\_Technology\\_First\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/250325267_Straight_Hemming_of_Aluminum_Sheet_Panels_Using_the_Electromagnetic_Forming_Technology_First_Approach). [cit. 22. 4. 2018]
- [22] *Technologie tváření – nekonvenční metody* [online]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/11.htm#113](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/11.htm#113). [cit. 22. 4. 2018]
- [23] ŠTROBACH, R. *Porovnání laboratorních vlastností karosářských lepidel s jejich chováním v reálném crash testu*. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2011.
- [24] DIN EN 10346. *Continuously hot – dip coated steel flat products for cold forming – Technical delivery conditions*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2015
- [25] SCA, *Adhesive and sealant applications in the Body-in-White segment* [online]. Dostupné z: <https://www.sca-solutions.com/en/industries/automotive/body-in-white>. [cit. 17. 5. 2018]

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1:	Výkresová dokumentace přípravku
Příloha č. 2:	Materiálový list odmašťovacího přípravku D – Sol Extra
Příloha č. 3	Materiálový list lepidla SikaPower 492
Příloha č. 4	Materiálový list lepidla Betamate 1440G
Příloha č. 5	Materiálový list lepidla Betaguard RB214 - BV
Příloha č. 6	Materiálový list lepidla Corabond V
Příloha č. 7	Zkouškový protokol lemové zkoušky pro lepidlo SikaPower 492 s délkou lepené plochy 21 mm
Příloha č. 8	Zkouškový protokol lemové zkoušky pro lepidlo Betamate 1440G s délkou lepené plochy 21 mm
Příloha č. 9	Zkouškový protokol lemové zkoušky pro lepidlo Betaguard RB214BV s délkou lepené plochy 21 mm
Příloha č. 10	Zkouškový protokol lemové zkoušky pro lepidlo Betaguard RB214BV s délkou lepené plochy 23 mm
Příloha č. 11	Zkouškový protokol lemové zkoušky pro lepidlo Betaguard RB214BV s délkou lepené plochy 25 mm
Příloha č. 12	Zkouškový protokol lemové zkoušky pro lepidlo Corabond V s délkou lepené plochy 21 mm
Příloha č. 13	Zkouškový protokol lemové zkoušky pro lepidlo Corabond V s délkou lepené plochy 23 mm
Příloha č. 14	Zkouškový protokol lemové zkoušky pro lepidlo Corabond V s délkou lepené plochy 25 mm









## C-sol (Extra)

<b>Popis:</b>	kapalina C-sol Extra je směsí ropných uhlovodíků bez obsahu halogenů	
<b>Použití:</b>	k bezoplachovému odmašťování a čištění dílů za studena v postřikových, máčecích nebo ručních strojích, ideální pro opravy, údržby, průmyslové provozy s hrubším znečištěním, pro mytí elektrických dílů a zařízení	
<b>Vlastnosti:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ vynikající čistící schopnost</li><li>➤ účinnost na většinu olejů, tuků, vazelín a vosků</li><li>➤ vyhovující odpařivost</li><li>➤ nepoškozuje čištěný povrch</li><li>➤ nezpůsobuje korozi materiálů</li><li>➤ ideální pro ocel, hliník, zinek, měď, titan</li><li>➤ vysoká sytnost</li><li>➤ zasychá bez map</li><li>➤ obsah aromátů do 0,03 % hm</li><li>➤ minimální zatížení ovzduší</li></ul>	
<b>Parametry:</b>	bod vzplanutí	63 °C
	hustota při 15°C	790 kg/m³
	viskozita při 25°C	1,23 mm²/s
	třída hořlavosti	III.
<b>Balení:</b>	50 l, 160 l, 200 l	
<b>Likvidace:</b>	společnost QTS CZ s.r.o. garantuje na území ČR výměnu a odvoz použité náplně	

QTS CZ s.r.o.  
Kydlinovska 245  
503 01 Hradec Králové  
www.qts.cz

Tel.: 602 412 577  
495 532 763  
prodej@qts.cz



Product Data Sheet  
Version 02 / 2009**SikaPower®-492**  
Semi crash resistant hem flange adhesive

## Technical Product Data

Chemical base	Epoxy hybrid
Color (CQP 001)	black
Hazard designation	Xl, N
Non-volatile compounds (CQP 576)	> 99 %
Density before / after curing (CQP 576)	1.20 / 1.35 kg/l approx.
Application temperature	50 - 60°C (nozzle)
Viscosity: 50°C, oscillation 5Hz, RVP 25 mm, 1 mm gap (CQP 584-1)	1000 Pa.s approx.
Curing time / substrate temperature	20 min / 175°C
Lap shear strength <sup>1)</sup> , at 0.3 mm (CQP 580-1,-5 / EN 1465)	20 MPa approx.
Lap shear strength <sup>2)</sup> , -30°C / +80°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-5 / EN 1465)	22 / 15 MPa approx.
Lap shear strength <sup>3)</sup> , 20' 160°C / 40' 200°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-5 / EN 1465)	18 / 18 MPa approx.
Lap shear strength <sup>4)</sup> , 1.5 mm metal sheet, at 0.3 mm (CQP 580-1,-5 / EN 1465)	30 MPa approx.
Dynamic resistance to cleavage <sup>5)</sup> (CQP 580-3,-6 / ISO 11343)	30 N/mm approx.
T-Peel strength <sup>6)</sup> (CQP 580-2,-6 / ISO 11338)	8 N/mm approx.
Tensile strength <sup>7)</sup> (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	30 MPa approx.
Elongation at break <sup>8)</sup> (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	8% approx.
Glass transition temperature, DMTA (CQP 509 / DIN EN ISO 6721, EN 81006)	105°C approx.
Shelf life, at 23°C (CQP 584-1)	8 months

<sup>1)</sup> CQP = Corporate Quality Procedures<sup>2)</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticon PL 3602-36 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.<sup>3)</sup> H320 ZE 60/60 1.5 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticon PL 3602-36 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.<sup>4)</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticon PL 3602-36 S; adhesive layer: 20 x 30 x 0.3 mm; impact speed: 2.0 m/s.<sup>5)</sup> DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 2 g/m<sup>2</sup> Anticon PL 3602-36 S; adhesive layer 25 x 100 x 0.3 mm; rate of extension: 100 mm/min.<sup>6)</sup> Rate of extension: 2 mm/min.

## Description

SikaPower®-492 (LVP) is a one-part, warm-applied, heat-curing high-structural, impact modified adhesive based on epoxy.

SikaPower®-492 (LVP) is designed for sheet metal assembly work in the body shop and is cured with heat, e.g. in the paint oven, to form a high-performance thermoset.

SikaPower®-492 (LVP) is manufactured in accordance with ISO 9001/ 14001 quality assurance system and with the Responsible Care program.

## Product Benefits

- One-part
- High strength
- Adheres well to oily substrates
- Very high resistance to washing out
- Suitable for joining different materials
- Contains fine glass beads
- Distortion-free joining
- Provides protection against corrosion
- No damage to substrates
- Contains no solvents, PVC or isocyanates

## Areas of Application

SikaPower®-492 (LVP) is suitable for high structural bonding of different types of metal. As an adhesive product it is designed for use as a hem flange bonding adhesive. The glass beads contained in the adhesive provide a uniform layer of adhesive in the gap and help to reduce excessive material squeeze out. The bonding of oily substrates (standard anti-corrosion treatment and deep drawing oils, approx. 2 g/m<sup>2</sup>) is possible because of the oil uptake during the heat curing that is an essential part of the process.





# BETAMATE™ 1440G

### Crashresistant Structural Adhesive

**Description / Application:**

**HETAMATE™ 1440G** is a one component, epoxy based adhesive filled with glass beads especially developed for the body shop. The adhesive is used in the car to increase the operation durability, the crash performance and the body stiffness.

### Properties:

- Excellent process and storage stability
- Excellent adhesion to automotive steels, including coated steels and pretreated aluminium with good tolerance to oils and dry lubes
- Stiffness and crash stability increase of the entire car body
- High durability of the adhesive and the adhesive bond
- Protection of the metal and weld joints against corrosion due to its sealing capability
- Compatible with other mechanical and thermal joining techniques
- Compatible with the electrocoat process
- Wash-off resistant
- Precurable
- Up to six weeks open time in the uncured bond

**Application:**

The product is cold applicable or can be applied at temperatures of about 30 to 80°C. It can be applied as a bead, can be swirled or jet-streamed. It can be applied with the following parameters:

application speed	200 - 500 mm/s
temperatures:	recommended:
follower plate	cold pumpable or 30 - 40°C
follower plate - doser	Per heating zone approx. 5°C heat increase.
	40 - 55°C
	45 - 60°C

For an optimum tack of the adhesive, the parts to bond should be stored at 15°C or higher. In case of a longer application break (such as longer than 48 hours) the heating of the application equipment should be switched off.

All Dow Automotive products are primarily developed in co-operation with the automobile manufacturers, according to their needs and their specifications; they are approved for the specific applications as defined by the customer.

The use of the product other than approved application have to be released in written form by the Technical Service of Dow Automotive.

## BETAGUARD RB 214 BV

---

### Popis výrobku / Použití:

Lepidlo je na bázi kaučuku, je vyrobeno pro aplikace v automobilovém průmyslu, kde se uplatní jeho dvě přednosti - jednak se dá použít jako vysokopevnostní antivibrační tmel a dále jako těsnicí hmota pro utěsnění lemů. Má velmi dobrou rázovou houževnatost a dobře odolává chvění. I bez předvytvrzení má dobrou odolnost proti vymytí. Dá se vytvrdit v KTL peci, nabízí dobrou adhezi na naolejovaných substrátech.

---

### Fyzikální vlastnosti:

Chemický základ	syntetický kaučuk
Barva	zelená - černá
Hustota	1,5 g/cm <sup>3</sup>
Obsah pevných složek	> 99%
Objemová roztažnost	5 – 10%
Aplikační teplota	35°C
Podmínky vytvrzování	220°C / 30 min
Viskozita (tryska 5mm, 0,3MPa)	cca 50-150g/min. při 35°C
Podmínky vytvrzování	min: 25 min. / 155°C max: 30 min. / 220°C
Smyková pevnost (ČSN EN ISO 1465)	cca 2,5N.mm <sup>-2</sup> s tloušťkou 2mm (při kohezivním porušení spoje) cca 3-5N.mm <sup>-2</sup> s tloušťkou 0,2mm (při kohezivním porušení spoje)
Dynamická odolnost vůči štípání rázem (0,2mm/ISO 11343)	>10N/mm s energií cca 100-300J/m (závisí na podmínkách vytvrzení)
Teplotní stabilita	max. 30 min. / 220°C

### Aplikace:

Příprava povrchu	nevyžadována (snese vrstvu oleje do 3,5g.m <sup>-2</sup> )
Aplikační teplota	min 35°C max 45°C (nad tuto teplotu by se mat. neměl dostat )

---

## CORABOND V

### Popis výrobku / Použití:

CORABOND V je jednosložkové strukturální lepidlo ze syntetického kaučuku, používané pro lepení karosářských plechů.

---

### Fyzikální vlastnosti:

Základ	syntetický kaučuk
Barva	černá
Hustota	1,55 g/cm <sup>3</sup> +/- 0,03 ( 20°C )
Obsah pevných složek	> 99%
Podmínky vytvrzování	180 až 200°C / 30 min
Viskozita	250 +/- 0,03 s
Index toku	2,88 bar.( 20 g, 2,6 mm tryska )
Smyková pevnost	ca. 12 MPa ( tloušťka 0,2 mm, 50 mm/min, vytvrzení 30 min / 180°C )

## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - LEMY

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : SikaPower 492G  
 Testovaný substrát: : HDG 21 mm  
 Testované mazivo: :  
 Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
 Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
 Vypracoval: : Jakub Macháček

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovárů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

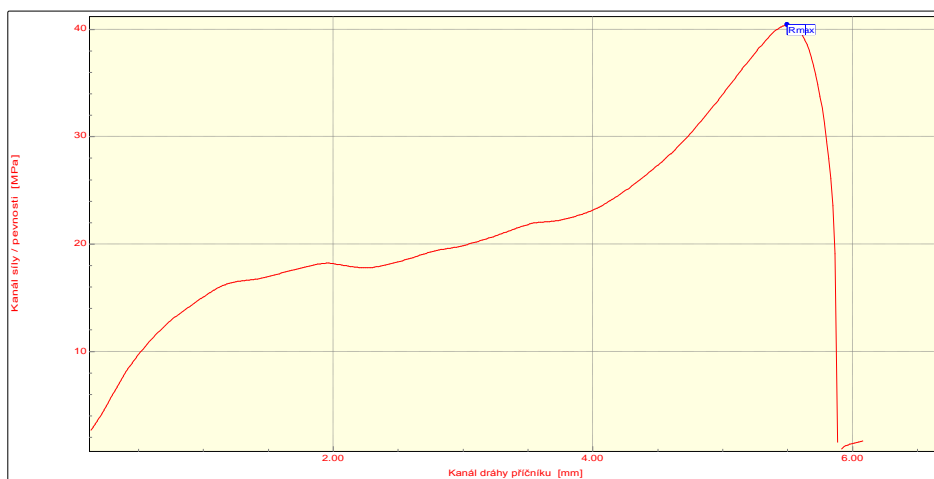
### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: :  
 SCF: :  
 AF: :

Číslo zkoušky	Fmax N
1	10104.0
2	11093.9
3	10076.1
4	8816.3

Statistická hodnota	Fmax N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	10022.6
Směrodatná odchylka	933.1



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - LEMY

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Betamate 1440G  
 Testovaný substrát: : HDG 21 mm  
 Testované mazivo: :  
 Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
 Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
 Vypracoval: : Jakub Macháček

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovárů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

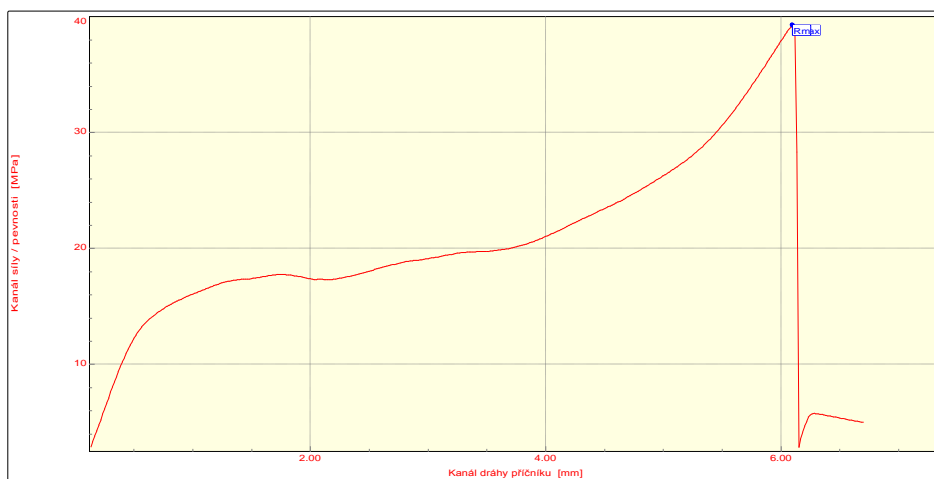
### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: :  
 SCF: :  
 AF: :

Číslo zkoušky	Fmax N
1	7505.8
2	9525.9
3	9813.5
4	12002.8

Statistická hodnota	Fmax N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	9712.0
Směrodatná odchylka	1840.3



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - LEMY

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Betaguard RB214BV  
 Testovaný substrát: : HDG 21 mm  
 Testované mazivo: :  
 Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
 Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
 Vypracoval: : Jakub Macháček

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

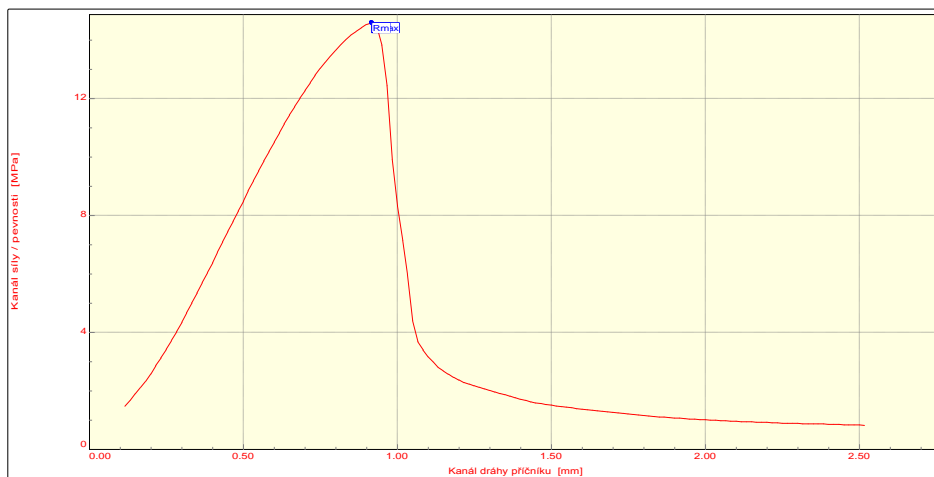
### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: :  
 SCF: :  
 AF: :

Číslo zkoušky	Fmax N
1	3757.7
2	3761.6
3	3831.8
4	3648.8

Statistická hodnota	Fmax N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	3750.0
Směrodatná odchylka	75.5



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - LEMY

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Betaguard RB214BV  
 Testovaný substrát: : HDG 23 mm  
 Testované mazivo: :  
 Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
 Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
 Vypracoval: : Jakub Macháček

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

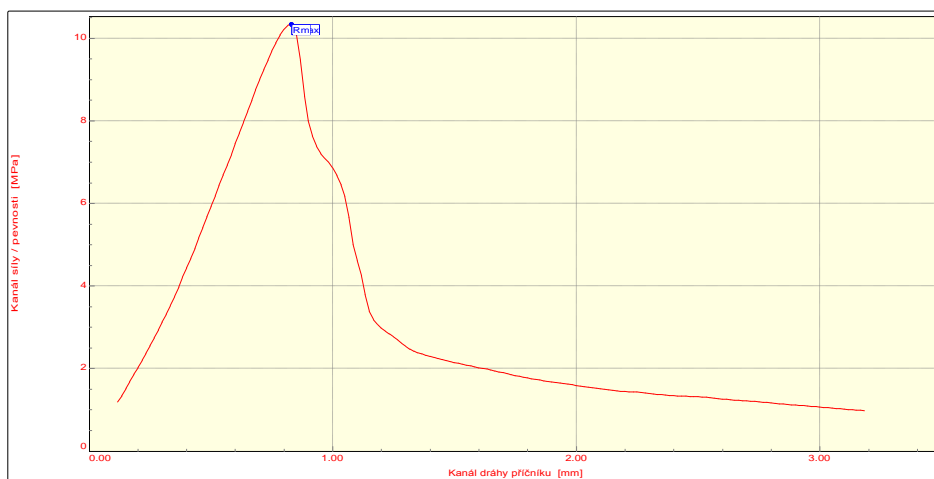
### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: :  
 SCF: :  
 AF: :

Číslo zkoušky	Fmax N
1	4298.0
2	3940.9
3	2810.1
4	2582.1

Statistická hodnota	Fmax N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	3407.8
Směrodatná odchylka	839.8



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>



## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - LEMY

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Betaguard RB214BV  
 Testovaný substrát: : HDG 25 mm  
 Testované mazivo: :  
 Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
 Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
 Vypracoval: : Jakub Macháček

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

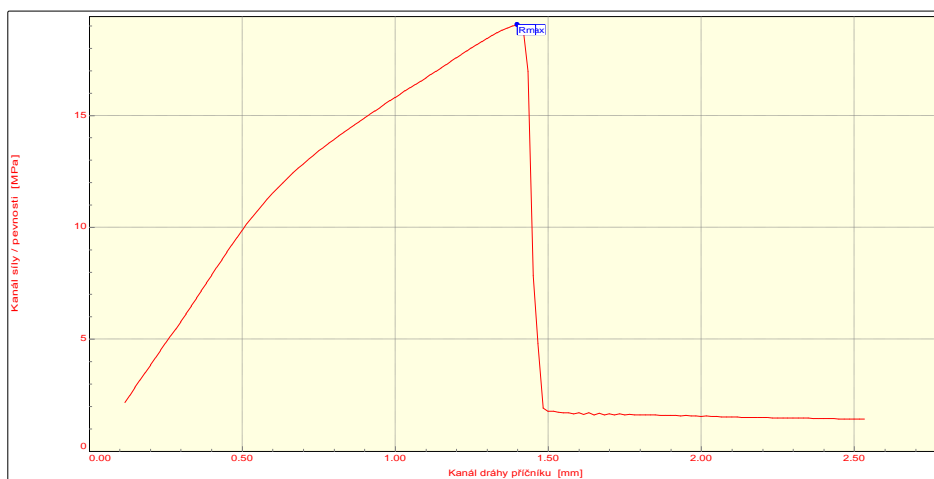
CF: :

SCF: :

AF: :

Číslo zkoušky	Fmax N
1	4945.6
2	4763.8
3	5006.4
4	4763.0

Statistická hodnota	Fmax N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	4869.7
Směrodatná odchylka	125.2



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - LEMY

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Corabond V  
 Testovaný substrát: : HDG  
 Testované mazivo: :  
 Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
 Podmínky měření : Teplota RT, KAF 20kN  
 Vypracoval: : Jakub Macháček

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

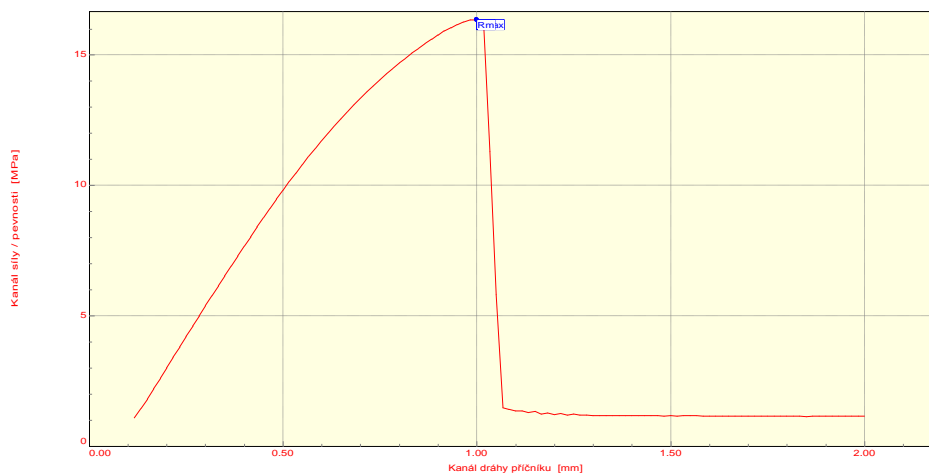
### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: :  
 SCF: :  
 AF: :

Číslo zkoušky	Fmax N
1	4088.7
2	3956.7
3	3467.9
4	3538.3

Statistická hodnota	Fmax N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	3762.9
Směrodatná odchylka	306.2



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - LEMY

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Corabond V  
 Testovaný substrát: : HDG 23 mm  
 Testované mazivo: :  
 Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
 Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
 Vypracoval: : Jakub Macháček

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

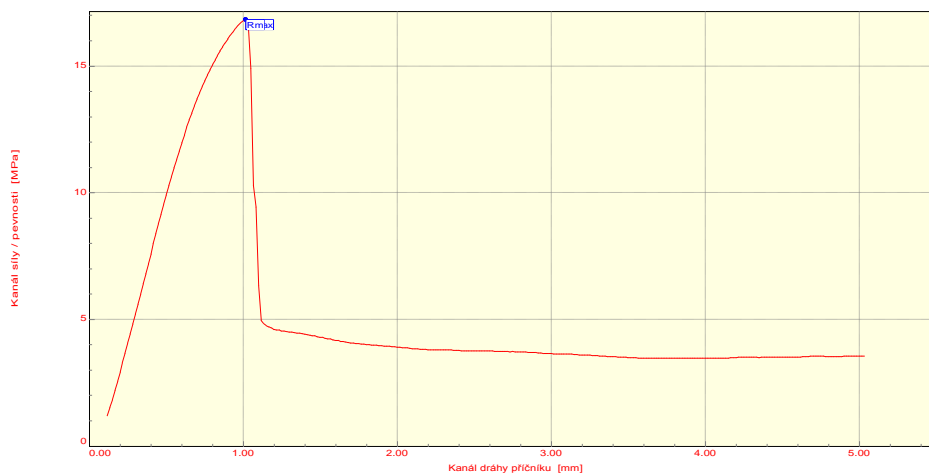
### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: :  
 SCF: :  
 AF: :

Číslo zkoušky	Fmax N
1	4207.0
2	3606.6
3	3656.1
4	2505.0

Statistická hodnota	Fmax N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	3493.7
Směrodatná odchylka	713.1



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

## ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI - LEMY

### PODMÍNKY

Testované lepidlo: : Corabond V  
 Testovaný substrát: : HDG 25 mm  
 Testované mazivo: :  
 Rychlost zatěžování: : 50 mm/min  
 Podmínky měření: : Teplota RT, KAF 20kN  
 Vypracoval: : Jakub Macháček

PŘÍPRAVA VZORKŮ: Příprava polotovarů, odmaštění, slepení vzorků.

Vytvrzení : 180°C, 20 min.

Test při RT

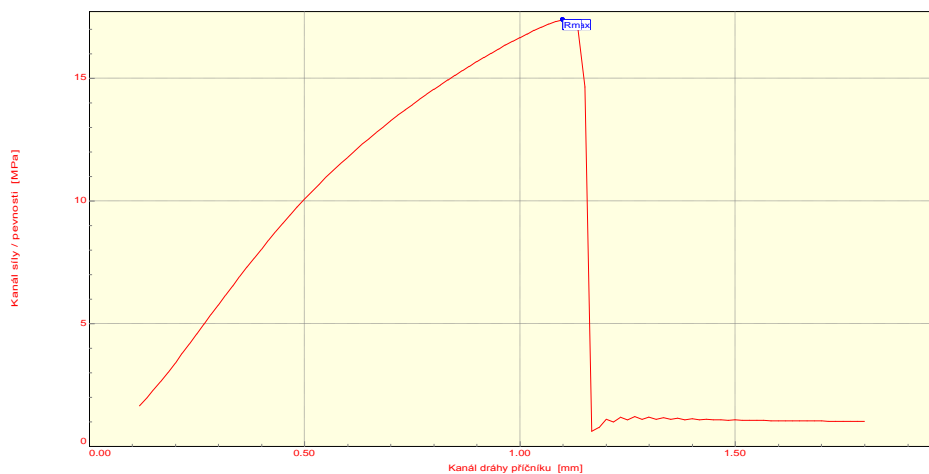
### VÝSLEDKY

Typ porušení [%]:

CF: :  
 SCF: :  
 AF: :

Číslo zkoušky	Fmax N
1	3647.3
2	4209.4
3	4061.8
4	4347.9

Statistická hodnota	Fmax N
Počet zkoušek	4
Průměrná hodnota	4066.6
Směrodatná odchylka	303.0



Technická univerzita v Liberci

Katedra strojírenské technologie  
 Studentska 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>